



health economy

Kampf dem Krebs!

**Aufbruch ins Zeitalter
der Präzisionsmedizin**

Dossier

unter Mitwirkung
von TissueGnostics
und weiteren
führenden Experten



Herausgeber
Oliver Jonke
[o.jonke@medianet.at]

Editorial

Precision Medicine, made in Austria

Liebe Leserinnen und Leser!

Seit 15 Jahren ist das österreichische Pionierunternehmen TissueGnostics im Bereich Precision Medicine u.a. auch für Krebszentren auf der ganzen Welt erfolgreich tätig.

Big.

Durchschnittlich haben wir alle eine wachsende Lebenserwartung, und es gibt einen globalen Trend hin zu mehr Wohlstand. Gleichzeitig wächst in der Weltbevölkerung signifikant die Anzahl der Patienten mit schweren Erkrankungen, wie etwa Krebs. Insgesamt gibt es für eine effiziente Bekämpfung dieser Krankheiten mit klassischen Mitteln zu wenig Ressourcen an Ärzten, Institutionen und Therapiemöglichkeiten. Eine der großen Herausforderungen unserer Zeit ist es also, durch Forschung, fortlaufend optimierte Diagnosemethoden und Therapien die Prognose für alle Betroffenen – unabhängig von ihren Einkommensverhältnissen – zu verbessern.

Data.

Die fortschreitende Digitalisierung ermöglicht in noch nie dagewesenem Ausmaß, Daten von Patienten zu sammeln und zu analysieren. Durch die immer genauere Auswertung einer Vielzahl von biomolekularen Messdaten werden präzisere Diagnosen ermöglicht; man spricht daher in diesem Zusammenhang oft auch von technologiegetriebener Medizin oder auch von „precision medicine“. Engagierte Wissenschaftler entwickeln neue, meist quantitative Verfahren, die zu Meilensteinen bei der Diagnostizierung und personalisierten Behandlung von Krebs werden.

Ein hervorstechendes Beispiel dafür ist das 2003 gegründete Wiener Unternehmen TissueGnostics, das heute international tätig ist und über Niederlassungen in der EU, USA und China verfügt. Dieses Dossier wurde im Auftrag und unter Mitwirkung von TissueGnostics sowie weiteren führenden wissenschaftlichen Institutionen realisiert.

Future.

Forschung und Entwicklung im Bereich Präzisionsmedizin zahlt sich sicher in jeder Hinsicht aus. Arbeiten wir daran, dass die bestmöglichen Rahmenbedingungen für die Wissenschaft, die Forschung und daraus entstehende Unternehmen geschaffen werden! Sorgen wir dafür, dass es möglichst viele qualifizierte Bioinformatiker gibt, damit es einerseits mehr „Investigator Initiated Trials“ geben kann und letztendlich allen Patienten künftig noch schneller und effektiver geholfen wird. Passen wir mit effizienteren Diagnose- und Behandlungsmethoden unsere teilweise verkrusteten Gesundheitssysteme den individuellen Patientenbedürfnissen an, am besten aber, ohne „ewige Patienten“ zu generieren ...

Eine spannende Lektüre wünscht
Oliver Jonke

Inhalt



Dossier:
Präzisionsmedizin

Coverfoto: © TissueGnostics

- 3 **Vorwort**
TissueGnostics-CEO Rupert Ecker sieht Revolution

- 4 **Portrait**
Wiener Unternehmen bringt Forschern den Durchblick



© medianet/Joel Haider

- 6 **Round Table**
Experten diskutieren über personalisierte Medizin

- 11 **Präzisionsmedizin**
Wie genau der neue Zugang zur Medizin funktioniert



© PantherMedia/Miriam Kaina

- 12 **Globaler Blick**
medianet-Rundruf bei internationalen Universitäten

- 16 **Fakten**
Wie sich die Medizin weiterentwickelt

Impressum

Medieninhaber:

medianet Verlag GmbH
1110 Wien, Brehmstraße 10/4. OG
<http://www.medianet.at>

Diese Sonderausgabe wurde von medianet unter Mitwirkung von TissueGnostics erstellt.

Konzept: Oliver Jonke (Herausgeber)
Kontakt: o.jonke@medianet.at

Leitender Redakteur dieser Ausgabe:
Martin Rümmele (rüm)

Lektorat: Christoph Strolz **Grafik/Produktion:** Raimund Appl, Peter Farkas **Fotoredaktion/Lithografie:** Beate Schmid **Druck:** Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., 3580 Horn
Erscheinungsort: Wien **Stand:** August 2018

Für den Inhalt verantwortlich:
Rupert Ecker, TissueGnostics



Abo, Zustellungs- und Adressänderungswünsche:
abo@medianet.at
oder Tel. 01/919 20-2100

Medizin-Revolution

Individualisierte Medizin wird in den kommenden Jahren das Gesundheitswesen grundlegend verändern.

Gastkommentar

••• Von Rupert Ecker

WIEN. Ein Airbus A380 ist eine hochkomplexe und sehr wertvolle Maschine. Damit sie fliegen kann, müssen nicht nur vier Millionen Einzelteile zusammengebaut werden, es müssen auch Dutzende mechanische, hydraulische, elektrische und elektronische Untersysteme miteinander kommunizieren und aufeinander abgestimmt arbeiten.

Kommt es in einem der Systeme zu einem Defekt, beginnen die Flugzeugingenieure nicht einfach wahllos Komponenten auszutauschen, in der Hoffnung, den Fehler zu beheben, sondern auf die Störungsmeldung folgt erst eine detaillierte Fehleranalyse. Ziel ist es, die genaue Ursache eines Fehlers sowie den Mechanismus, der zur Störung geführt hat, zu erkennen und zu verstehen – um darauf gezielt reagieren zu können und die Ursache des Problems zu beseitigen. Wenn etwa ein Haltebolzen bricht, wird er nicht nur ausgetauscht, sondern die Ingenieure versuchen zu verstehen, warum der Bolzen überhaupt gebrochen ist. Übertragen auf biologische Systeme – Zellen, Gewebe, Organe und Organismen –, ist das die Kernidee der personalisierten Medizin.

Paradigmenwechsel

Dieses Schlagwort geistert derzeit durch viele Fach- und Publikumsmedien. Man spricht sogar von einer Revolution oder einem Paradigmenwechsel im Gesundheitssystem, der das Potenzial hat, die bestehende Versorgung komplett auf den Kopf zu stellen. Dabei ist der Begriff an sich irreführend, weil er vermittelt, dass sich ein Arzt um eine bestimmte Person kümmert. Eigentlich geht es



© medianet/Joel Halder

mehr um eine „individualisierte Medizin“ oder besser gesagt Präzisionsmedizin.

Die Idee dahinter: Menschen sind unterschiedlich und können ganz unterschiedlich auf verschiedene Medikamente reagieren. Oft entscheiden kleine Unterschiede darüber, ob eine Therapie wirkt oder nicht. Doch was tun? Es macht nicht nur wenig Sinn, sondern ist auch unethisch und teuer, wenn ein Arzt versucht, mittels systematischen Ausprobierens herauszufinden, auf welche Medikamente jemand anspricht. Genanalysen und die Untersuchung molekularer Biomarker können hier helfen und herausfiltern, welcher Typ Patient jemand ist.

Biomarker sind definierte, messbare, biologische Merkmale, die Hinweise auf bestimmte körperliche Vorgänge geben. Werte wie Körpertemperatur oder Blutdruck, aber auch Eigenschaften auf molekularbiologischer Ebene wie Gensequenzen, Proteine und Enzyme.

Einige davon kennen wir schon länger, andere werden gerade erst eruiert. Erforscht werden vor allem die Auswirkungen der unterschiedlichen Marker. Sie sind wiederum die Basis für die Entwicklung neuer Medikamente. Wenn später dann entsprechende Medikamente vorliegen, kann man maßgeschneidert therapieren. Man kann unerwünschte Wirkungen und Nebenwirkungen reduzieren und möglicherweise Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten ausschließen. Das spart Geld und vor allem individuelles Leid.

Debatte über Kosten

In Zeiten von immer knapper werdenden öffentlichen Budgets im Gesundheitsbereich könnte das eine Revolution bedeuten. Mit solch einer zielgerichteten, individualisierten Therapie können möglicherweise selbst chronische Krankheiten geheilt werden. Damit das möglich ist, braucht es allerdings Kosten-

wahrheit im Gesundheitswesen, die derzeit vielfach fehlt. Werden irgendwo Kosten sinnvoll gesenkt, bedeutet das noch nicht, dass das Geld auch wieder für die Therapie zur Verfügung steht und andere Therapiebereiche deshalb reduziert werden.

Wird Science-Fiction real?

Wie sich das in Zukunft entwickelt, ist offen. Freunde der Science-Fiction-Serie „Star Trek“ – im deutschsprachigen Raum besser bekannt unter dem Titel „Raumschiff Enterprise“ – kennen ein mögliches Bild: Der Serienarzt hat einen „Tricorder“ und scannt einen Patienten,

”

Genanalysen und molekulare Biomarker können helfen herauszufinden, welche Medikamente für einen Patienten optimal sind. Das spart Geld und Leid.

Rupert Ecker
CEO TissueGnostics

“

misst alle Gesundheitsparameter, diagnostiziert die Erkrankung dann in Sekundenschnelle. Vor einigen Jahren hat die US-IT-Firma Qualcomm einen Wettbewerb ausgerufen und ein Preisgeld in der Höhe von zehn Millionen Dollar für jenen Techniker in Aussicht gestellt, der als erster einen funktionierenden Tricorder entwickelt. Anders formuliert: die Zukunft hat gerade erst begonnen.

CSI-Krebs: So findet man die passende Therapie

Ein Wiener Unternehmen will die Diagnose in der Medizin revolutionieren: Neue Technologie analysiert Zellen und verhilft so zu zielgerichteten Therapien.

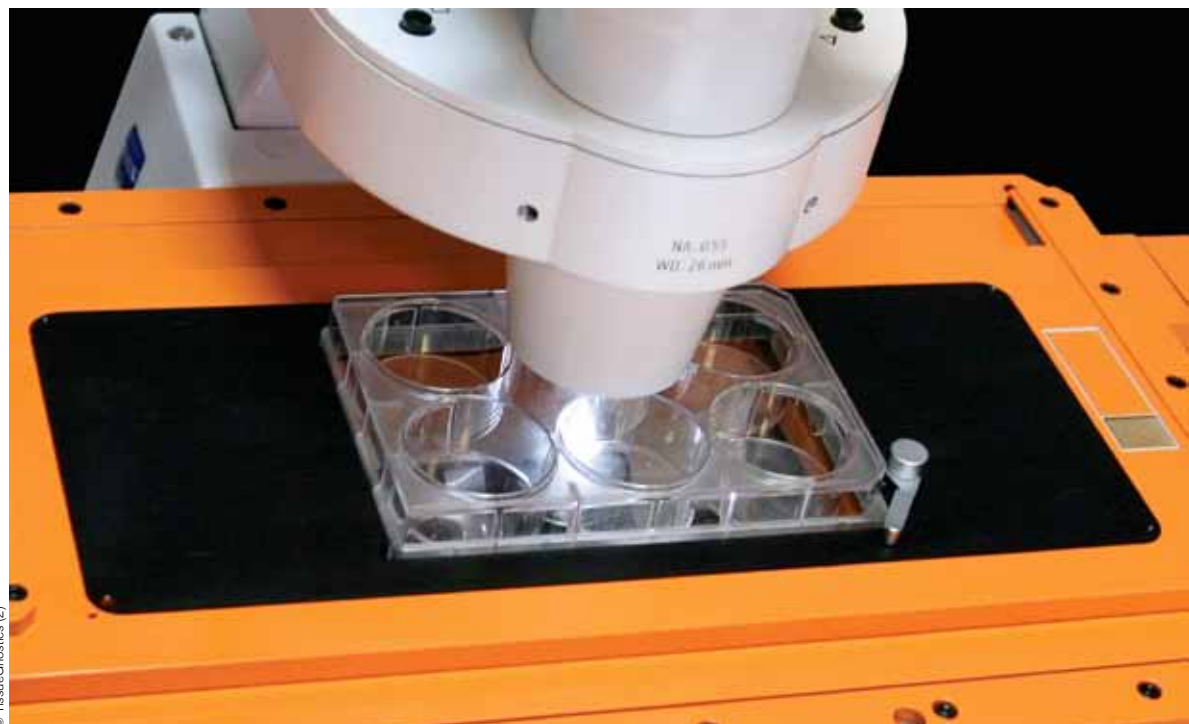
... Von Martin Rümmele

Ein blasses Blau zieht sich über den Bildschirm – es sind Krebszellen einer Gewebeprobe, dazwischen braune Einsprengsel, Abwehrzellen, die aber vom Tumor lahmgelegt sind. Das Computerprogramm der Wiener Firma TissueGnostics ermöglicht es, zu *analysieren*: Wo in der Probe ist die Zahl der Krebszellen besonders hoch? Wo sind wie viele Abwehrzellen? TissueGnostics hat ein Verfahren zur automatischen Charakterisierung von Tumorgewebe entwickelt und damit die Grundlage für die oft zitierte „personalisierte Medizin“ der Zukunft geschaffen.

Vereinfacht dargestellt, klingt die Entwicklung simpel: Damit man überhaupt zielgerichtete Therapien in der Medizin einsetzen kann, muss man nicht nur eine Krankheit diagnostizieren, sondern viel genauer,

Zielgerichtet

Mit der neuen Technik kann besser garantiert werden, dass jene Patienten, gegen deren Tumor ein bestimmtes Medikament wirkt, dieses auch bekommen. Gleichzeitig kann ausgeschlossen werden, dass durch eine falsche Diagnose jemand mit einem Präparat behandelt wird, das nicht wirkt.



© TissueGnostics (2)

um welche *Art* es sich handelt. Oft unterscheidet sich etwa eine bestimmte Krebsart wiederum in vielen Details. Lässt sich diese genau bestimmen, kann man auch die richtigen Medikamente

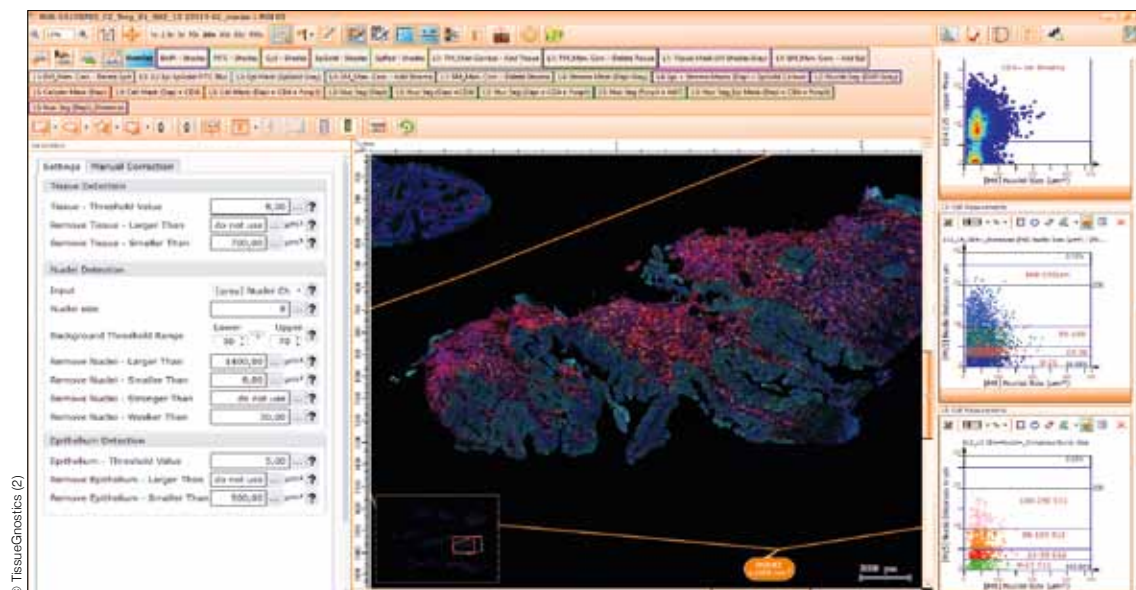
zielgenau einsetzen. Doch wie bestimmt man diese vielen Details?

Komplexe Diagnose

„Ein Pathologe bestimmt anhand von Gewebeproben heute

nicht nur, um welche Krebsart es sich handelt; wenn zum Beispiel ein ganz bestimmtes Krebsgen aktiv ist, das dazu führt, dass an der Oberfläche der Zellen ein spezielles Eiweiß gebildet wird. Nur





© TissueGnostics (2)

Analyse

Spezielle Software zur medizinischen Bildanalyse schafft die Basis für die individualisierte Medizin der Zukunft und hilft, Millionen an Daten zu ordnen.

manche Wirkstoffe erkennen es und können so den Tumor bekämpfen“, sagt Rupert Ecker, Geschäftsführer von TissueGnostics. Aber die Diagnose dieser Eiweiße ist nicht einfach. Der studierte Zellbiologe war für seine Diplomarbeit im Forschungslabor für Urologie der Medizinuniversität Wien einst tagelang damit beschäftigt, am Computer in Gewebeschnitten Zellen genau zu bewerten – eine mühsame und vor allem auch fehleranfällige Arbeit, da die Unterschiede oft minimal sind. Ein Pathologe erkennt Proteine mithilfe von Antikörpern, die mit einem Farbstoff gekoppelt sind. Je mehr von einem speziellen Eiweiß vorhanden ist, umso mehr Antikörper docken an, umso stärker die Farbreaktion. Allerdings ist die Einschätzung

der Farbintensität sehr subjektiv. Und: Es gibt bis zu 30.000 verschiedene Proteine.

Gefragte Software hilft

Also machte sich Ecker daran, eine Software zu entwickeln, bei der die Bilder aus dem Mikroskop *automatisch* ausgewertet werden – rasch und mit hoher Zielgenauigkeit. Vor 15 Jahren wurde dann das Unternehmen TissueGnostics aus der Taufe gehoben und nahm einen kometenhaften Aufstieg. Heute verwenden Universitäten und Forschungseinrichtungen in ganz Europa, den USA und in China die Software des Unternehmens. Sie wird längst nicht nur in der Onkologie, sondern auch etwa in der Neurologie und Dermatologie eingesetzt. An die 1.000 wissenschaftliche Publikationen wurden bereits veröffentlicht.

TissueGnostics wird aufgrund der Kernkompetenz im Bereich automatisierter Mikroskopie und Gewebszytometrie immer öfter als Industriepartner zu Forschungsinitiativen eingeladen und unterstützt die Forschung in Richtung personalisierter Medizin. Bisher wurde man zur Teilnahme in vier EU-geförderten Marie Skłodowska Curie Innovative Training Networks eingeladen, in denen unterschiedliche, translationale wie technische Aspekte und Grundlagen der Präzisionsmedizin erarbeitet werden (siehe rechts).



Unterstützung für Forschung in der EU

Digital Pathology

TissueGnostics war Partner bei der „Academia and Industry Collaboration for Digital Pathology“ (AIDPATH), ein internationales Projekt zur Entwicklung effizienter und innovativer Produkte für die digitale Pathologie. AIDPATH war von 2013 bis 2017 ein IAAP Marie Curie Action European Union's FP7 Framework-Programm.

Calcium Sensing Receptor

Das CaSR Biomedicine European Training Network (ETN) ist ein in Wien angesiedeltes Projekt, das die Rolle eines einzelnen Moleküls, des CaSR (Calcium Sensing Receptor), in einer Reihe von physiologischen Prozessen und Krankheiten untersucht und ein einzigartiges, multidisziplinäres und intersektorales Trainingsprogramm entwickelt.

Breakfree from Cancer

Das Europäische Ausbildungszentrum „ALKATRAS – Breakfree from Cancer“ ist eingebettet in ein etabliertes internationales Forschungsprogramm: Die Europäische Forschungsinitiative für anaplastische Lymphomkinase (ALK)-bedingte Malignome. Das ist ein Netzwerk von 13 Forschungspartnern.

Cell Migration Studies

InCeM ist ein internationales PhD-Programm, das Nachwuchswissenschaftlern die Möglichkeit bietet, ihre forschungs- und unternehmerischen Fähigkeiten und damit ihre Karriereaussichten zu verbessern. Der primäre Forschungsschwerpunkt ist die Zellmigration, ein fundamentaler biologischer Prozess, der im gesamten menschlichen Körper auftritt.

”

Wir arbeiten sehr eng mit Universitäten zusammen und helfen so auch in der internationalen Krebsforschung.

Rupert Ecker
CEO TissueGnostics

“



© medianet/Joe Haider

Diagnostik morgen: Moleküle als Basis

medianet-Herausgeber Oliver Jonke im Round Table-Gespräch mit führenden Experten und Wissenschaftlern aus dem Bereich der Präzisionsmedizin.

Der Begriff „Personalisierte Medizin“ ist eigentlich falsch, sind sich die Experten des Round Table-Gesprächs einig. „Personalisierte Medizin“ mache jeder niedergelassene Allgemeinmediziner genauso wie jeder Arzt, der beispielsweise nach der traditionellen chinesischen Medizin arbeitet: „Er widmet sich der Person des Patienten, redet mit ihm und sammelt Informationen“, sagt Renate Kain, Leiterin der Pathologie der Universitätsklinik in Wien.

Doch darum gehe es bei der personalisierten Medizin eben nicht, weshalb der oft verwendete Begriff auch irreführend ist. Kain: „Heute geht es da um die Einbeziehung von Unmengen an Daten, Vergleichsdaten und entsprechenden Analy-



sen.“ Personalisierte Medizin habe deshalb nichts mit der Zuwendung des Arztes zu tun, sagt Georg Stingl, emeritierter Professor des Instituts für Dermatologie an der Medizinuniversität Wien, und empfiehlt stattdessen die in der Wissenschaft verwendeten Begriffe „Präzisionsmedizin“, „Stratifizierte Medizin“ oder „Individualisierte Medizin“.

Krankheitsunterschiede

Im Grunde – und hier zeige sich der Unterschied zur Zuwendungsmedizin des Arztes – handle es sich um eine stark *technologiegetriebene* Medizin, die den Menschen oder die jeweilige Krankheit in der molekularen Gesamtheit betrachte, sagt Stingl. Erfasse man individualisierte Unterschiede, könne man mit der Therapie

zielgerichtet ansetzen. Ein einfaches Beispiel sei etwa, dass ähnliche, aber unterschiedliche Erkrankungen gleiche Symptome zeigen können. Erst mit der genauen *Analyse* zeige sich der Unterschied. Stingl: „Neurodermitis – in der Fachwelt als atopische Dermatitis bekannt – hat etwa drei große Säulen mit der gleichen klinischen Manifestation. Aber der *Auslöser* ist jeweils unterschiedlich. Wenn wir diese Unterschiede erfassen können, wissen wir auch, wo wir mit der Behandlung als erstes ansetzen können.“ Das gelte auch für viele entzündliche Erkrankungen.

Hohe Kosten

Hier zeige sich allerdings auch das Problem der Entwicklung, wenn jeder Patient sein eigenes, individuell passendes Medikament bekommt. „Das ist eine

Horrorvorstellung, weil wir uns das gar nicht leisten können“, sagt Stingl und betont, dass er das aber auch für gar nicht nötig hält. Wichtig sei, dass man überhaupt entsprechende Medikamente entwickeln und passend einsetzen kann. Der Vorteil sei die Analyse von Daten und deren Einsatz in der Entwicklung neuer Medikamente, sind sich die Experten einig.

Wie wichtig die neuen Ansätze sind, erkenne man daran, dass die Zahl der Krebserkrankungen immer mehr zunimmt. Die Gründe liegen im ungesunden Lebensstil, Umweltthemen und vor allem der demografischen Entwicklung – mit zunehmendem Alter steigt das Risiko von Mutationen und Tumoren. Nicht zuletzt deshalb nehmen auch die Wissenschaft und die Pharmaindustrie das

Die Teilnehmer

Renate Kain

Head of Department of Pathology, Medical University Vienna

Bettina Zelger

Head of Department of Pathology, Medical University Innsbruck

Helmut Klocker

Head of Urology Research, Medical University of Innsbruck

Georg Stingl

Former Head of Department of Dermatology, Medical Univ. Vienna

Richard Moriggi

Scientific Director Ludwig Boltzmann Institute for Cancer Research, Vienna

Rupert Ecker

CEO TissueGnostics

Moderation: Oliver Jonke

Herausgeber medianet



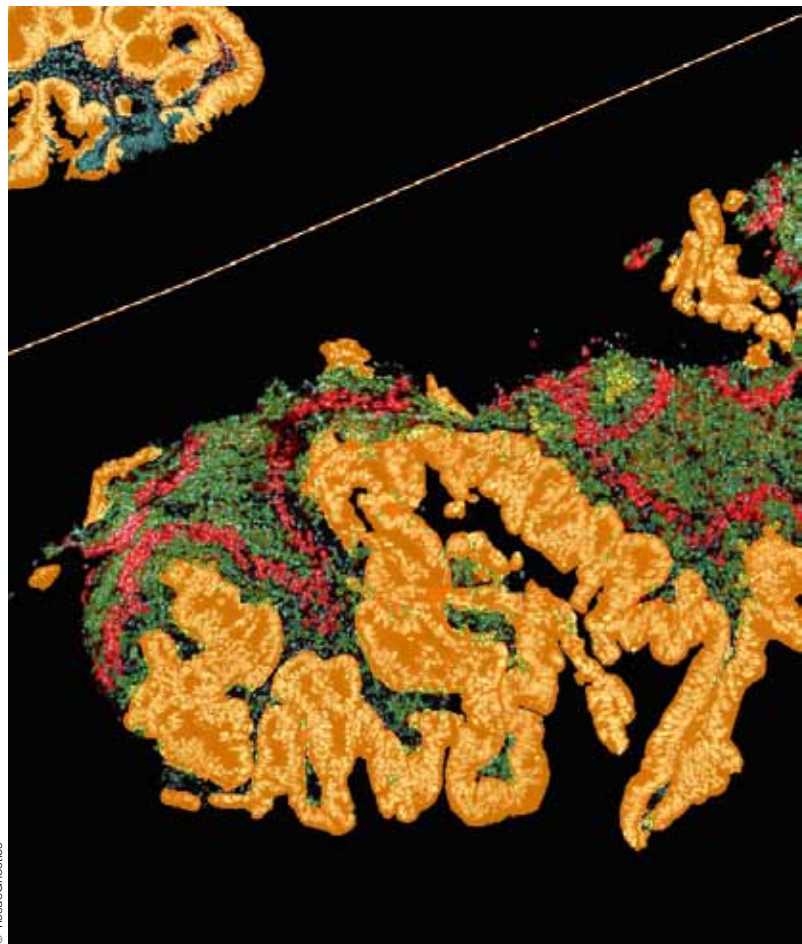
© medianet/Joë Haider (4)

”

Es gibt in Österreich viel zu wenige Pathologen. Wir brauchen für den Ausbau der individualisierten Medizin Teams und Zentren. Dafür fehlt aber derzeit noch die Finanzierung.

Bettina Zelger

“



© TissueGnostics



”

Individualisierte Medizin hilft uns, zu klären, wo wir etwa eine aggressive Krebstherapie einsetzen müssen und wo wir einen Tumor vielleicht sogar unbehandelt lassen können.

Helmut Klocker

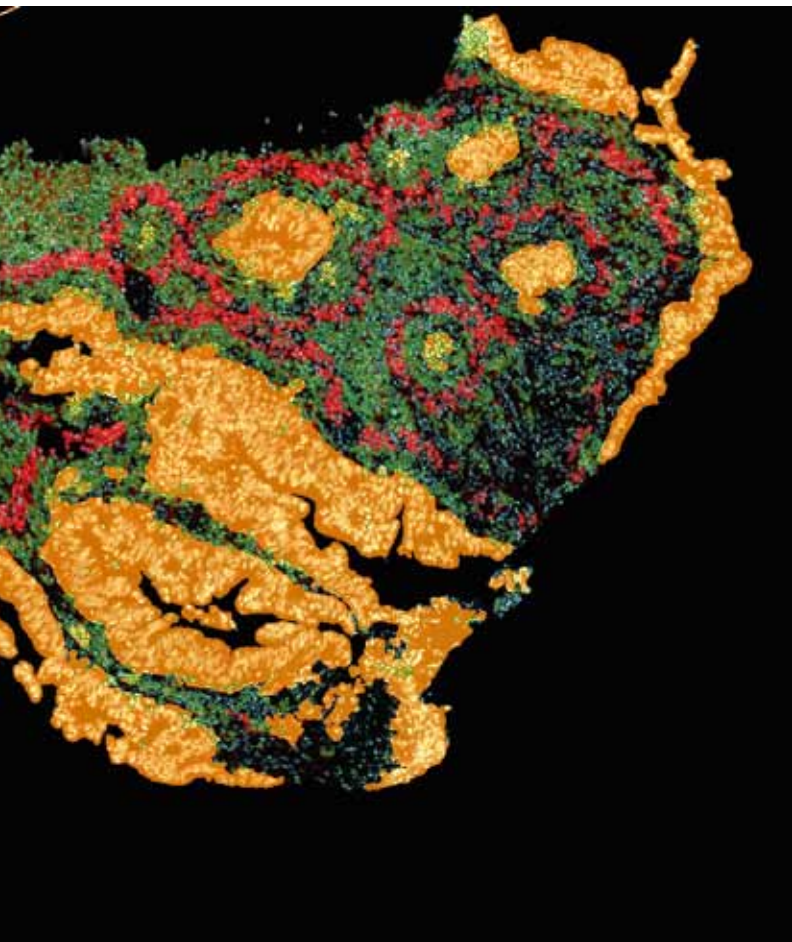
“

Thema Krebs verstärkt ins Visier. Das zeige sich auch bereits in den vergangenen Jahren, berichtet etwa Kain: „Was in den vergangenen Jahren entwickelt wurde und die Pharmaindustrie hier leistet, ist schon sehr bemerkenswert. Die therapeutischen Möglichkeiten, die sich hier aufgetan haben, sind enorm. In den vergangenen 15 Jahren haben wir etwa in der Onkologie Quantensprünge erlebt. Wir haben Dinge gesehen, die bisher unvorstellbar waren.“ Es zeige sich aber auch hier, dass die Kosten dadurch kräftig steigen.

Sparpotenzial bringe umgekehrt aber genau der *zielgerichtete* Einsatz der teuren Therapien, sagt Helmut Klocker, Leiter des Forschungslabors der Urologie an der Medizinuniversität Innsbruck. „Unser Ziel in der Forschung ist es ja, dass wir die Therapien und damit die Mittel auch möglichst effizient einsetzen. Wo ich keinen Benefit für den Patienten erwarte, sollte ich die jeweilige Therapie gar

nicht einsetzen. Im Extremfall, etwa bei einem Prostatakarzinom, kann man dann auch klären, wo man wirklich eine aggressive Krebstherapie einsetzen muss und wo man den Tumor vielleicht unbehandelt lassen kann, weil er sehr langsam wächst und ungefährlich ist.“

Allerdings sollte man in dieser Diskussion auch die Preispolitik der Hersteller hinterfragen, regt Richard Moriggl, Professor für Funktionelle Krebsgenomik an der Veterinärmedizinischen Universität und Medizinischen Universität Wien, an. „Manche Produkte, die etwa Überlebensraten erhöhen, sind sehr teuer; es kann aber sein, dass sie in der *Herstellung* sehr billig sind. Manchmal ist der Forschungsaufwand der Grund, aber nicht immer.“ Sicher ist in jedem Fall, dass die individualisierte Medizin die Medizin als solche massiv verändert, ist Kain überzeugt. Das zeige sich auch im Bewusstsein aller Forscher



”

Dass jeder Patient sein individuelles Medikament bekommt, ist eine Horrorvorstellung. Das können wir uns nicht leisten. Im Grunde brauchen wir das aber nicht. Es geht darum, bessere Mittel zu entwickeln.

“

Georg Stingl

und Wissenschaftler – auch in Österreich. „Das betrifft ja nicht mehr nur die Krebsmedizin, sondern *alle* Erkrankungen. Es gibt Erkrankungen, wo wir noch nicht wissen, wie sie verlaufen und hier enorme Fortschritte in den kommenden Jahren bevorstehen.“

Bessere Rahmenbedingungen

Um das zu schaffen, müssten allerdings auch Rahmenbedingungen geschaffen werden, fordern die Experten im medianet-Round Table. Österreich engagiere sich zwar jetzt stärker im Thema Big Data und der wissenschaftlichen Nutzung von Daten, es fehle allerdings die Verknüpfung mit der medizinischen *Forschung*. In der Folge fehlen dann auch die wirtschaftlichen Mittel dafür, kritisieren die Experten. „Es gibt in Österreich etwa viel zu wenige Pathologen. Wir brauchen für den Ausbau der individualisierten Medizin mehr Teams und Zentren. Dafür fehlt aber derzeit noch die

Finanzierung“, betont Bettina Zelger, Leiterin des Instituts für Pathologie an der Universität Innsbruck. Auch der noch recht neue Beruf des Bioinformatikers werde in Österreich noch viel zu wenig ausgebildet. Gerade diese Fachleute seien aber enorm gesucht und könnten sich derzeit die besten Jobs auf der ganzen Welt aussuchen. Die Folge: Gibt es gute Leute in Österreich, werden sie ins Ausland abgeworben. Umgekehrt fehlen aber in Österreich die Mittel, um gute Leute zu halten oder überhaupt aus dem Ausland anzuwerben, sind sich die Universitätsprofessoren einig.

Strategie fehlt

Sie fordern deshalb auch eine nationale Strategie ein: „Österreich hat in den vergangenen zehn Jahren verschlafen, Bioinformatiker auszubilden“, sagt Moriggl. Länder wie Indien, China und die USA und andere seien hier wesentlich weiter und hätten damit auch die Ressourcen für die Forschung und



”

Wir stellen Forschern und Ärzten Werkzeuge zur Verfügung, um die molekularen Grundlagen von Krebs und anderen Krankheiten besser zu verstehen und spezifische Therapien zu entwickeln.

“

Rupert Ecker

Entwicklung neuer Produkte. Moriggl: „Wir brauchen in Österreich eine internationale Strategie unter der Einbindung von Fachleuten und müssen ein Bewusstsein für die Möglichkeiten schaffen, die sich hier bieten.“ Stingl wird noch deutlicher: „Ich kenne kein Land, wo das Bewusstsein für die Potenziale der Wissenschaft so wenig in der Politik verankert ist, wie in Österreich. Wir haben derzeit auch gar kein eigenes Wissenschaftsministerium. Das würden wir aber brauchen, damit auch das Bekenntnis für wissenschaftliche Forschung da ist.“

Unter dem Strich fehlen dann nämlich auch die öffentlichen – und letztlich privaten – Mittel für die Forschung. Bis auf wenige Highlights wie das vom

Pharmakonzern Boehringer Ingelheim finanzierte Institut für molekulare Pathologie oder das IMBA in Wien gebe es im internationalen Vergleich wenig Möglichkeiten in Österreich. In den USA würden etwa ganze Universitätsinstitute und Zentren im Bereich der Individualisierten Medizin finanziert – öffentlich und privat.

Neue Möglichkeiten

Genau das sei allerdings auch wichtig, damit ein Land wie Österreich hier nicht den Anschluss verpasse. Hilfe kann und will etwa das Unternehmen TissueGnostics bieten, das nach Angaben von CEO Rupert Ecker versucht, den Wissenschaftlern neue Werkzeuge zur Verfügung zu stellen. „Wir arbeiten an Standardisierun-



© medianet/Joë Haider (2)

”

Wir brauchen in Österreich eine internationale Strategie unter der Einbindung von Fachleuten und müssen ein Bewusstsein für die Möglichkeiten schaffen, die sich hier bieten.

Richard Moriggl

“



”

Was wir in den vergangenen Jahren hier schon erlebt haben, war unglaublich. In der Onkologie hat es etwa Quantensprünge gegeben, die vorher unvorstellbar waren.

Renate Kain

“

gen und kooperieren dazu mit internationalen Universitäten“, sagt Ecker. Man arbeite etwa daran, neue Biomarker, Kennzeichen der Tumore, zu entdecken, die beispielsweise eine Vorhersage ermöglichen, ob ein Patient auf eine Therapie anspricht oder nicht. „Gleichzeitig könnten solche Biomarker auch Zielsubstanzen für neue Therapien sein.“ Doch auch dafür brauche es entsprechende Mittel und Förderungen. „Wir stellen Forschern und Ärzten Werkzeuge zur Verfügung, um die molekularen Grundlagen von Krebs und anderen Krankheiten besser zu verstehen und spezifische Therapien zu entwickeln“, ist Ecker überzeugt und sieht sein Unternehmen hier gut aufgestellt.

Die Experten sehen allerdings noch eine weitere Herausforderung auf die einzelnen Staaten zukommen – die breite Umsetzung der Erkenntnisse und Entwicklungen. „Es stellt sich die Frage, wie wir das zu den Patienten bringen. Wie organisiert man die Spitäler?

Wo schaffen wir entsprechende Zentren? Aber auch, wie machen wir der Öffentlichkeit überhaupt transparent, dass es hier enorme Möglichkeiten und Chancen, aber auch möglicherweise Umbrüche im System gibt“, fragt Klocker. Hier bedürfe es großer nationaler, aber auch internationaler Anstrengungen, denn die Wissenschaft entwickle sich rasant weiter.

Wichtige Debatte

Fazit der medianet-Expertenrunde: Individualisierte Medizin – oder besser: Präzisionsmedizin – hat das Zeug, die Medizin grundlegend zu verändern und damit auch die Therapie von bisher unheilbaren Krankheiten zu ermöglichen. Das wird allerdings die Wissenschaft, die Universitäten, die Gesundheitssysteme und damit die gesamte Gesellschaft vor enorme Herausforderungen stellen, die möglichst rasch diskutiert werden müssten. Doch leider fehle dafür noch das Bewusstsein – innerhalb der Politik und in der Gesellschaft.

Wissen macht gesund

Je mehr man über die genetischen Parameter eines Patienten weiß, umso besser kann man ihn therapieren.

••• Von Martin Rümmele

NOTTINGHAM. Mohammad Ilyas ist Molekularpathologe an der University of Nottingham in England und Experte in Sachen Präzisionsmedizin. Im medianet-Gespräch skizziert er, wie das Wissen über die genetischen Parameter eines Patienten bei der Wahl der Therapie und damit bei den Heilungschancen helfen kann. „Die medizinische Behandlung erfolgt in der Regel auf der Basis statistischer Wahrscheinlichkeiten“, sagt er. Und weiter: „Wenn also ein Patient mit Krankheit Y mit Therapie X behandelt wird, basiert diese Entscheidung auf langjähriger Erfahrung oder auf Daten aus klinischen Studien, die zeigen, dass Krankheit Y am ehesten auf Behandlung X anspricht. Jeder Arzt weiß jedoch, dass nicht alle Patienten identisch reagieren, und in der Tat kann für einige Patienten mit der Krankheit Y die Behandlung Z wirksamer sein.“

Individuelle Therapie als Ziel
Das ultimative Ziel der Medizin sei es, jeden Patienten gezielt *individuell* und nicht nach der Wahrscheinlichkeit zu heilen, eben personalisiert. Diese Betrachtung beinhaltet auch die ganzheitliche (diagnostische) Betrachtung des Patienten. Für eine wirklich personalisierte Medizin sind Informationen in mindestens sechs verschiedenen Kategorien erforderlich. Diese sind die „6 Ps der Präzisionsmedizin“:

- **Prädispositionsinformationen** geben Auskunft über das Risiko, eine Krankheit zu entwickeln; sie würden aus der Analyse der Keimbahn-DNA des Patienten gewonnen.
- **Pharmakogenetische Informationen** geben Auskunft

6 Ps

Krebsgenetik

Die „6 Ps“ der Krebsgenetik sind für Forscher Ilyas: Prädisposition, Profil, Prognose, Prediction, Pharmakogenetik und Pharmakotherapie.

darüber, wie eine Person auf ein bestimmtes Medikament anspricht, und würden gleichfalls aus der Analyse der Keimbahn-DNA des Patienten gewonnen.

- **Profilinformationen** geben Infos über spezifische Veränderungen, die aufgrund der Krankheit eingetreten sind, und würden aus einer umfassenden Analyse des erkrankten Gewebes (einschließlich der Analyse von DNA, RNA und Protein) abgeleitet werden.
- **Prognostische Informationen** geben Auskunft über die Biologie der Krankheit und deren wahrscheinlichen Verlauf; sie würden auch aus eingehenden Analysen des erkrankten Gewebes gewonnen werden.
- **Prädiktive Informationen** bieten Informationen zu den Therapien, die zur spezifischen Behandlung einer Krankheit eingesetzt werden könnten; wiederum aus einer umfassenden Untersuchung des erkrankten Gewebes zu gewinnen.



© Mohammad Ilyas

Forscher

Mohammad Ilyas ist Molekularpathologe an der Universität von Nottingham und Experte für Präzisionsmedizin.

- Mittels *pharmakotherapeutischer Informationen* werden krankheitsspezifische Moleküle identifiziert, die therapeutische Ziele bei der Behandlung sein können. Diese Informationen würden ebenfalls aus der umfassenden Analyse des erkrankten Gewebes gewonnen werden.

Analyse des Gewebes

Die Pathologie kann als die „Untersuchung von Krankheiten“ definiert werden und beinhaltet in der Praxis die Analyse erkrankten Gewebes zur Erstellung einer Diagnose. In seiner grundlegendsten Form wird in der Pathologie das erkrankte Gewebe im Mikroskop betrachtet. Anhand seines Erscheinungsbilds kann ein erfahrener Pathologe die zugrundeliegende Erkrankung erkennen. In den vergangenen Jahren hat jedoch der technologische Fortschritt die Datenmenge, die aus der Gewebeanalyse gewonnen werden kann, dramatisch erhöht, und manche Untersuchungen erfolgen bereits automatisiert.

Insbesondere Techniken wie Next Generation Sequenzierung (NGS) ermöglichen nun eine sehr detaillierte Analyse von DNA und RNA aus gesundem und krankem Gewebe. Entwicklungen in der Proteomik erlauben gleichfalls eine sehr detaillierte Analyse der Proteine sowie Zytomik die objektive, automatisierte Analyse von Geweben. Die aus Genomik, Proteomik und Zytomik resultierenden Big Data können mittels neuester Methoden des Data Mining analysiert und neue klinisch bedeutungsvolle Muster in den Daten identifiziert werden. Diese Methoden reichen von neuartigen Algorithmen der Künstlichen Intelligenz (KI) zur Analyse digitalisierter Gewebekilder bis hin zu ausgefeilten bioinformatischen Ansätzen zur kontextualisierten Analyse aller Daten. Diese Merkmalsmuster lassen sich in eine der „6 P“-Kategorien einordnen, wodurch die Pathologie eine entscheidende Rolle bei der Bereitstellung von Daten spielt und so ermöglichen kann, dass personalisierte Medizin Realität wird.

Forschung setzt global auf Personalisierung



Nicht nur in Europa, auch in Asien, Afrika, Südamerika und Nordamerika arbeiten Forscher mit Biomarkern, um individuelle Fragen zu beantworten.

... Von Martin Rümmele

Personalisierte Medizin und Präzisionsmedizin gebe es im Grunde schon lange, und es wird heute erwartet, dass man so weit wie möglich die Konzepte der Präzisionsmedizin in der Forschung verwendet, sagt Beatrice Knudsen, Professorin für Biomedical Sciences and Pathology am Cedars-Sinai Medical Center in Los Angeles, im Interview mit medianet. In einem Rundruf durch sechs globale Forschungszentren zeigt sich, dass die Themen Personalisierte Medizin bzw. Präzisionsmedizin überall ganz oben auf der Tagesordnung stehen (*siehe nächste Seite*).

Zentraler Bestandteil

Die Aufnahme von genetischem Wissen in die Patientenversorgung sei bereits ein wichtiger Teil der klinischen Forschung und Behandlung in der Umgebung von Boston, sagt etwa der dortige Forscher, Thomas J. Diefenbach, Ko-Direktor des Ragon Institute Imaging Core of MGH, MIT and Harvard. Dort gebe es bereits seit 2001 ein Partner Healthcare Personalized Medicine Center, das die Nutzung genetischer und genomischer Informationen für die klinische Praxis und die Ausbildung von Ärzten unterstützt und erleichtert. Die Finanzierung derartiger Programme gehöre bereits zu den operativen Budgets von amerikanischen Forschungskliniken. „Im Jahr 2016 vergab das National Institute of Health (NIH) Millionen von Dollar für die Einrichtung von vier weite-

ren Zentren innerhalb des nationalen Netzwerks von Health Care Provider Organizations, die das Kohorten-Programm der Precision Medicine Initiative (PMI) implementieren“, sagt Diefenbach. Im Bereich von Boston befinden sich die Personalisierte Medizin bzw. Präzisionsmedizin bereits in einem fortgeschrittenen Stadium der Eingliederung.

Förderungen in Brasilien

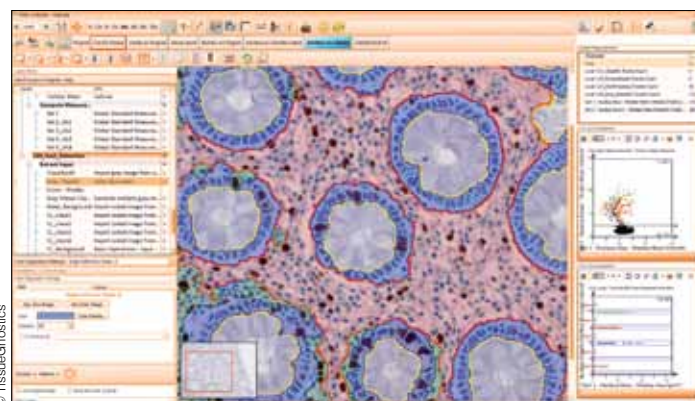
Auch in Südamerika gibt es entsprechende öffentliche Förderprogramme. In Brasilien schreibt etwa die staatliche Stiftung „CNPq“ Programme zur Erforschung spezifischer Krankheiten aus, wie Regenerative Medizin oder auch Früherkennung und Behandlung von Krankheiten, sagt Henning Ulrich, Professor für Biochemie an der Universität São Paulo.

”

Die TissueGnostics-Systeme werden meiner Meinung nach immer mehr an Bedeutung in Grundlagen- und angewandter Forschung gewinnen und sollten in keinem Pathologielabor fehlen.

Henning Ulrich
Universität
São Paulo

“



Seine Arbeitsgruppe arbeitet im Bereich von regenerativer Medizin und neurodegenerativen Erkrankungen. „Hier sind präzise histologische Aufnahmen und Analysen von Hirnschnitten notwendig“, schildert er und betont dabei auch, das System des österreichischen Unternehmens TissueGnostics zu verwenden. „Meine Meinung ist, dass die TissueGnostics-Systeme immer mehr an Bedeutung in Grundlagen- und angewandter Forschung gewinnen werden, und auch in keinem Pathologielabor fehlen dürfen.“

HIV-Fokus in Afrika

In Afrika wird die Personalisierte Medizin unter anderem verwendet, um neue Therapien gegen HIV-Aids zu entwickeln. Nicht alle Menschen reagieren gleich auf das HIV-Virus, und man könnte hier von jenen Personen lernen, die aufgrund ihrer Gene das Virus in Schach halten können, sagt Zaza Ndhlovu von der Universität KwaZulu Natal in Südafrika. Die südafrikanische Regierung finanziert über den Medical Research Coun-

cil (MRC), der dem NIH in den USA entspricht, Gesundheitsforschung in Südafrika. „Das MRC finanziert eine Reihe von Gesundheitsforschungsprogrammen, einschließlich derer, die sich auf Gesundheitsinnovationen konzentrieren, durch strategische Partnerschaften und Zuschüsse, die von der Grants Innovation and Product Development (GIPD) verwaltet werden.“ Die staatliche Finanzierung von Genomics-Zentren in Kapstadt und in Durban haben hier auch das Potenzial, die Entwicklung der Personalisierten Medizin im Land zu fördern.

Dieser komme hier entgegen, dass die afrikanische, traditionelle Medizin Krankheit *ganzheitlich* wahrnimmt. „Gemäß der traditionellen Medizin ist Krankheit nicht nur eine körperliche Störung, sondern es wird angenommen, dass sie ein Ergebnis eines Ungleichgewichts in den physischen, spirituellen, moralischen und sozialen Bedingungen des Patienten ist. Daher ist das traditionelle Patientenmanagement sehr personalisiert, weil alles von den

”

In China ist Präzisionsmedizin auch ein heißes Konzept und in einer ebenso wichtigen Position wie in Europa.

individuellen Umständen des Patienten abhängt.“

Eine Zusammenarbeit von Industrie und staatlichen Einrichtungen hält auch Makoto Yawata, Professor an der Yong Loo Lin School of Medicine der National University of Singapore, für wichtig: „Ich halte dies für vernünftig, da im Wesentlichen alle diagnostischen und therapeutischen Produkte einen Kommerzialisierungsschritt erfordern.“ Wie in den Vereinigten Staaten und in Japan seien auch in Singapur Plattformen notwendig, um umfassende genetische, phänotypische und Gesundheitsinformationen von Patienten zu sammeln, um Diagnose- und Behandlungsoptionen zu optimieren. „Es wird notwendig sein, Algorithmen zu entwickeln, um den riesigen Datensatz von jedem Patienten für effektive klinische Entscheidungen zu analysieren. Ähnlich wie in den USA umfasst Singapur mehrere Ethnien und daher eine erhebliche menschliche Vielfalt. Was die echte Personalisierte Medizin betrifft, ist dies eine Herausforderung für die Ärzte

GuoGuang Ying
Tianjin Medical
University

“

in diesem Land.“ Helfen können dabei auch Systeme, wie jenes der Firma TissueGnostics aus Österreich.

Eingesetzt wird das auch von Professor GuoGuang Ying am Tianjin Key Laboratory of Cancer Prevention and Therapy: „TissueGnostics hat das bis dato effektivste System zur Gewegebildgebung und Datenanalyse entwickelt, das Forschern und Molekulartherapeuten nützliche Werkzeuge für die Gewinnung wertvoller molekularer Profilinformationen liefert, die zur Diagnose von Erkrankungen und Mechanismen beitragen.“

Das molekulare Profiling sei der Kern der Präzisionsmedizin und werde insbesondere durch genomische, proteomische und Lokalisationsinformationen verkörpert, die durch verschiedene Technologien wie Sequenzierung, Chipping und Immunhistochemie-Färbung nachgewiesen und gesammelt werden.

Partner

Die Systeme der österreichischen TissueGnostics sind weltweit an führenden Universitäten gefragt, ergibt ein medianet-Rundruf in Amerika, Asien und Afrika.



© ZVG (6)

Südafrika

Zaza Ndhlovu
Universität KwaZulu Natal

„Die südafrikanische Regierung hat kürzlich mit dem Bau des Africa Genomics-Zentrums in Kapstadt begonnen, die sich der Entwicklung der Personalisierten Medizin im Land widmen werden. Das Zentrum wird sich auf Forschung konzentrieren, die zu einer schnelleren Diagnose und gezielteren Behandlung von Krankheiten wie Bluthochdruck, Schlaganfall, Herzerkrankungen, Diabetes und Krebs führen wird. Meine eigene Forschung, die Personalisierte Medizin zur Folge haben könnte, umfasst die genetischen und immunologischen Studien von Menschen, die in der Lage sind, das HI-Virus über viele Jahre ohne Medikamente in Schach zu halten; sie besitzen einige einzigartige Immungene. Im Laufe der Jahre haben wir und andere die molekularen Merkmale dieser speziellen Killerzellen identifiziert. Wir können dieselben Zellen bei vielen anderen Patienten bei viel niedrigeren Frequenzen finden. Precision Medicine ist ein sehr teures Unterfangen und erfordert eine hochspezialisierte Ausrüstung. Unsere größte Herausforderung bei der Durchführung innovativer Projekte sind begrenzte Finanzierungsmöglichkeiten. Ein Unternehmen wie TissueGnostics kann uns hier helfen, weil die Angebote die Forschung verbilligen.“



Brasilien

Henning Ulrich
Universität São Paulo

„Die Universität von São Paulo ist die beste Universität des Landes und gehört zu den renommiertesten weltweit. Das Konzept der Personalisierten Medizin ist für uns extrem wichtig in der Medizin. Das der Universität angehörige Klinikum (Hospital das Clinicas) ist das größte in Südamerika mit rund 11.000 Betten. Die Forschung meiner Arbeitsgruppe am Institut für Chemie der Universität konzentriert sich auf den Bereich von Stammzellen, Neurodegeneration und regenerativer Medizin. Obwohl wir Grundlagenforschung machen, liegt der Fokus auf medizinischer Forschung. So benutzen wir Zellkulturen und Mausmodelle, um pharmakologisch aktive Substanzen auf ihre Wirksamkeit bei Parkinson, Alzheimer und weiteren neurodegenerativen Erkrankungen zu untersuchen. Grants von der São Paulo Research Foundation stehen für jede Art von Grundlagenforschung und angewandte Forschung zur Verfügung. Projekte im Bereich der Personalisierten Medizin können jederzeit in den Gebieten von Biologischen Wissenschaften und Gesundheitswissenschaften eingereicht werden.“



© TissueGnostics



Singapur

Makoto Yawata

Yong Loo Lin School of Medicine

„Sowohl die Präzisionsmedizin als auch die Personalisierte Medizin werden in der industriellen als auch in der akademischen biomedizinischen Forschung in Singapur verfolgt, und ich betrachte die Standards auf Augenhöhe mit jenen in den USA und Japan. Die beiden Begriffe werden oft synonym verwendet, doch ich denke, dass es an der Zeit ist, die Unterschiede zu betonen. So wie ich es sehe, ist „Präzisionsmedizin“ ein Biomarker oder ein Krankheitsmerkmal, das in Diagnose und Therapie gezielt eingesetzt werden kann. Manchmal kann ein Biomarker bei allen Patienten zum Ziel werden, während einige andere Fälle mit einem höheren Risiko verbunden sind. Ein Beispiel für „Personalisierte Medizin“ ist die Identifizierung und Verwendung der Varianten der Bio-Marker in einem bei der Patientenauswahl und -behandlung. Das TissueGnostics-System ermöglicht es uns, Expressionsinformationen als kontinuierliche Variable zu sammeln, und führt so zu genaueren Analysen der Biologie der Krebsprobe. Wichtiger ist, dass dieses System eine Bewertung des Ausmaßes an Heterogenität in den Marker-Expressionsniveaus ermöglicht. Die Finanzierung von Grundlagenforschung für die Entwicklung erfolgt in Singapur von der Regierung in erster Linie vom Ministerium für Bildung, dem Gesundheitsministerium, Ministerium für Handel und Industrie und dem Büro des Premierministers.“



China

GuoGuang Ying

Tianjin Key Laboratory of Cancer Prevention and Therapy

„Personalisierte Medizin als ein Konzept für die Patientenversorgung ist eigentlich nicht neu, die chinesische Medizin hat genau auf einer individuellen Philosophie basiert und verwendet maßgeschneiderte Rezepte für jeden einzelnen Patienten. In China haben wir einen spezialisierten medizinischen Behandlungsansatz, der traditionelle und moderne Medikamente zur Diagnose und Behandlung von Krankheiten kombiniert. Precision Medicine ist meines Erachtens ein Konzept der Krankheitsbehandlung der Zukunft und muss anders definiert werden, da es auf *molekularer* Ebene konzentriert sein und auf molekularen Mechanismen basieren muss, die hauptsächlich durch biomedizinische Grundlagenforschung hervorgerufen werden. Daher ist Precision Medicine aus technischer Sicht nicht ohne die Hilfe modernster Diagnosetechnologien anwendbar, um eine drei- oder sogar multidimensionale Darstellung des Zustands jedes Patienten zu erhalten und um eine angemessene personalisierte Behandlung zu erreichen.“



USA

Thomas J. Diefenbach

Ragon Institute of MGH, MIT and Harvard, Boston

„Boston hat wohl die höchste Konzentration an biomedizinischen Forschungsinstituten und -Spitälern der Welt. Die Anzahl klinischer Studien ist atemberaubend. Die Mission des Ragon Institute von MGH, MIT und Harvard besteht darin, die besten Köpfe zusammenzubringen, wobei der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines AIDS-Impfstoffs liegt. Die Immunantwort ist sehr patientenspezifisch. Unsere Forschungsgruppe sammelt Blutproben von Patienten auf der ganzen Welt, um zu verstehen, warum manche Menschen natürlich in der Lage sind, das HIV-Virus unter einem nachweisbaren Blutspiegel zu unterdrücken. Da nur eine von 300 mit HIV infizierten Personen diese Fähigkeit zeigt, ist die Notwendigkeit, seltene zelluläre Phänotypen zu verstehen, essenziell. Das TissueGnostics-System ist ein unschätzbares Arbeitsmittel, um Schlüsselfragen in Bezug auf das Fortschreiten von AIDS in unserer klinischen Forschung und die Suche nach seltenen Zellen in Geweben zu beantworten. Ein großer Teil der Forschung beinhaltet die Untersuchung von Biopsieproben. Die Fähigkeit, Zellpopulationen unter Verwendung vieler immunologischer Marker in Lymphgewebe oder Gewebe von Infektionsstellen schnell zu quantifizieren, hilft, die Beziehungen zwischen diesen Zellen im immunologischen Kontext besser zu verstehen.“



USA

Beatrice Knudsen

Cedars-Sinai Medical Center, Los Angeles

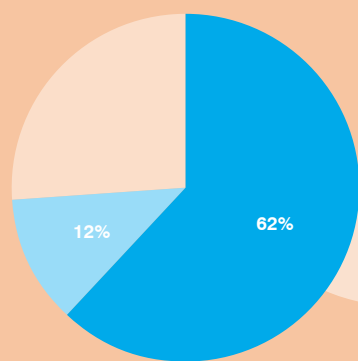
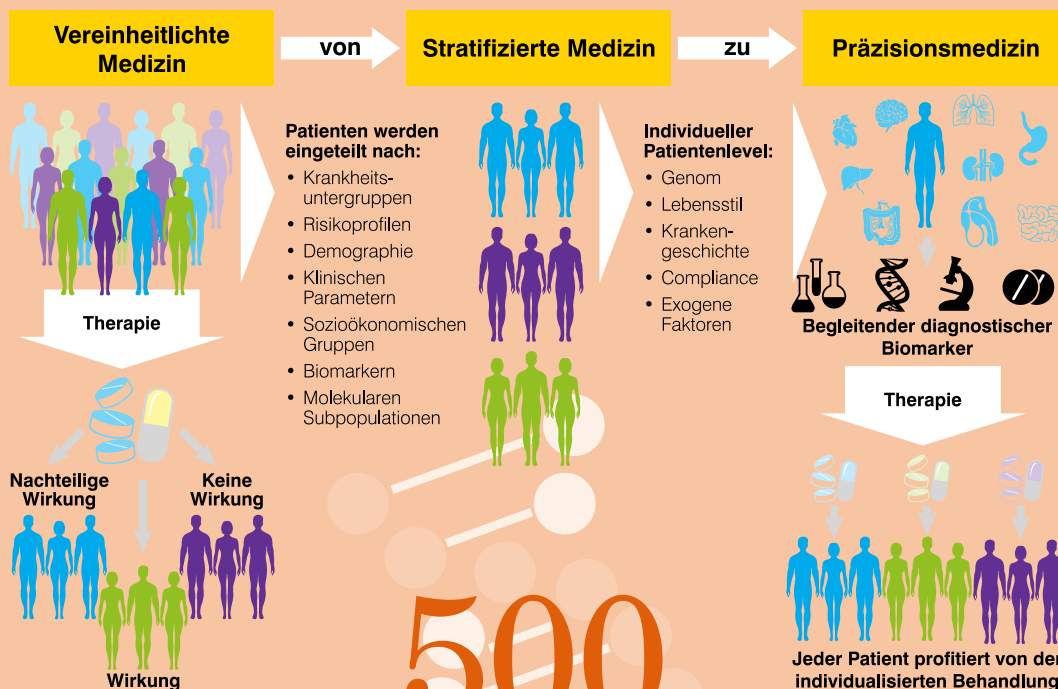
„Die Personalisierte Medizin ist unserer Hauptziel am Cedars-Sinai. Um das Ziel zu erreichen, gibt es etliche klinische Studien, die die Wirksamkeit von Medikamenten testen, die bei manchen Krebsarten sehr erfolgreich sein können. Wie an vielen anderen Universitäten, geht es darum, das Immunsystem gegen den Krebs zu aktivieren. Meine Gruppe beschäftigt sich direkt damit, verschiedene Immunzellen im Gewebe zu markieren, sie zu beobachten und zu vermessen. Wir verwenden die Analysesoftware jeden Tag und für jedes Projekt. Die Gewebe werden eingescannt, und die Digitalbilder sind analysebereit. Wir verwenden ausschließlich die Analysesoftware von TissueGnostics. Manchmal müssen wir ein bisschen auch selbst programmieren, aber wir versuchen gerade, gemeinsam eine App zu entwickeln, die keine Programmierkenntnisse benötigt. Die Analysesoftware hat etliche Möglichkeiten, die uns sehr helfen. Zum Beispiel beschäftigen wir uns gerade mit Makrophagen im Gewebe. Die Analysesoftware hat eine Möglichkeit zur Makrophagenbestimmung, die es bei anderen Systemen in dieser Art nicht gibt. Sie ist einfach und schnell zu lernen. Zusätzlich zur Software hat TissueGnostics auch ein fantastisches Customer Service.“

Die Stufen der Präzisionsmedizin

Nicht alle Menschen reagieren gleich auf eine entsprechende medikamentöse Therapie. Die Zukunft liegt darin, für verschiedene Gruppen die passenden Produkte zu entwickeln.

Neue Hilfe

Die Standardtherapie stößt in vielen Bereichen, wie etwa der Krebsmedizin, an ihre Grenzen. Experten gehen davon aus, dass die Personalisierte Medizin – genauer gesagt Präzisionsmedizin – neue Durchbrüche bringen kann. Dazu braucht es allerdings bei Patienten genaue Analysen von Gewebe- und Biomarkern, um die für sie passende Therapie finden zu können.



● sind bereits aktiv
● planen es/haben es vor

62%

In der Biomarker-Forschung und der translationalen Forschung sind derzeit 62% der relevanten Industriebetriebe aktiv, weitere 12% planen dies oder haben es vor.

56%

... der Einrichtungen, die keine formale Personalisierte Medizin-Initiative haben, glauben, dass ein solches Programm Wettbewerbsvorteile für sie bringen würde.

500

Single Nucleotide Polymorphisms

SNPs sind Stellen im Genom, an denen sich die DNA eines Teils der Menschheit vom Rest in einem einzelnen Basenpaar unterscheidet. Solche Stellen finden sich rund alle 500 bis 1.000 Basenpaare, quer über das Genom verteilt.

Einsatzbereich für Personalisierte Medizin

Weltweite Todesfälle 2016 mit spezifischer Todesursache, die sich von Risikofaktoren unterscheidet, wie Luftverschmutzung, Ernährung und andere Lebensstilfaktoren.

Todesursache	Todesfälle
Herz-Kreislauf Erkrankungen	17,65 Millionen
Krebs	8,93 Millionen
Erkrankungen der Atmungsorgane	3,54 Millionen
Diabetes	3,19 Millionen
Demenz	2,38 Millionen
Lebererkrankungen	1,26 Millionen
Tuberkulose	1,21 Millionen
HIV/AIDS	1,03 Millionen
Malaria	0,72 Millionen

Quelle: Institute for Health Metrics and Evaluation