

## **Stammzellenforschung und seltene neuroimmunologische Erkrankungen**

Dr. Michael Levy

Assistant Professor of Neurology Transverse  
Myelitis Center Johns Hopkins Medical Center

Stammzellentherapie heißt die große Hoffnung auf neurologische Genesung bei transverser Myelitis, akuter disseminierter Enzephalomyelitis, Neuromyelitis optica und Optikusneuritis.

Als Stammzellen werden unvollständig ausgebildete Zellen bezeichnet, die das Potential besitzen, zu einer reifen und funktionierenden Zelle zu werden. Die Zellen heranwachsender Embryos sind beispielsweise anfänglich allesamt Stammzellen. Sobald das Embryo beginnt Gewebe auszuprägen, reifen diese Stammzellen zu funktionalen Zellen heran und bilden Organe wie Leber, Nieren und Gehirn (Abb. 1 - Mike Jones [CC-BY-SA-2.5], über Wikimedia Commons). Zahlreiche Entwicklungsstufen liegen zwischen der frühen Stufe als embryonaler Stammzelle und der Endstufe als reife Zelle. Mit jeder Entwicklungsstufe steigt das Maß der Ausdifferenzierung. Ziel der klinischen Verwendung von Stammzellen ist die Nutzung ihres Potentials zur Ausprägung von Zellen, die dem Patienten fehlen oder ersetzt werden müssen. Bei der transversen Myelitis ist das Ziel die Regeneration der durch Entzündung zerstörten Rückenmarkszellen.

Die klassische neurologische Lehrmeinung geht davon aus, dass sich neurologisches Gewebe, das einmal durch Krankheit, Infektion oder Trauma zerstört wurde, nicht regenerieren kann. Das unterscheidet das Rückenmark deutlich von anderen Organen, etwa Nieren, Leber oder Knochenmark, die alle eine bemerkenswerte Fähigkeit zur Regeneration besitzen. Wir erkennen heute, dass auch im Rückenmark eine gewisse Erholung durch innere („endogene“) Mechanismen stattfindet. Als *endogene* Regeneration wird die Fähigkeit der eigenen Stammzellen des Patienten bezeichnet, zum Ort der Schädigung zu wandern und dort eine Heilung einzuleiten. Diese Stammzellen haben ihren Ursprung tief im Gehirn und können sich bei Bedarf das Rückenmark hinab bewegen. Doch bei der Mehrzahl der menschlichen Rückenmarksschädigungen lösen die ankommenden Stammzellen rätselhafterweise keine Wiederinstandsetzung aus, sondern sterben irgendwann einfach ab. Man hat versucht, diesen potentiellen Reparaturmechanismus zu verstehen und zu verbessern (siehe das neue, noch in Entwicklung befindliche Medikament von Biogen: Anti-Lingo-Antikörper); dies ist der Gegenstand eines weiteren Übersichtsartikels.

Es finden andere Stammzellenstudien für Erkrankungen statt, die mit der transversen Myelitis verwandt sind, doch sie beschäftigen sich nicht mit der Frage der Regeneration. Diese "Stammzellen", die aus dem Knochenmark stammen, werden vielmehr dazu verwendet, das Immunsystem von Patienten zu modulieren, die unter einer wiederkehrenden entzündlichen Erkrankung leiden, etwa unter Multipler Sklerose, Neuromyelitis optica oder wiederkehrender transverser Myelitis. Das Knochenmark enthält zwei Arten von Stammzellen: jene die zu Immunzellen werden und die übrigen, die als mesenchymale Stammzellen bezeichnet werden.

Immunstammzellen werden untersucht, weil sie die Fähigkeit haben, das Immunsystem von Patienten mit wiederkehrenden Erkrankungen "neu zu starten". Dieser Ansatz ähnelt der Verpflanzung von Knochenmark, bei der eine geringe Anzahl der gesunden Immunstammzellen des Patienten entnommen und im Labor aufbewahrt werden während eine chemotherapeutische Behandlung angewendet wird, um den Rest des

Immunsystems auszulöschen. Anschließend werden die gesunden Immunstammzellen wieder eingesetzt und das Immunsystem von diesen gesunden Immunstammzellen "neu gestartet".

Dieser Ansatz ist bei Patienten mit monophasischer, idiopathischer transverser Myelitis nicht sinnvoll, weil das Immunsystem dieser Patienten nicht anomal ist; diese Patienten haben vielmehr ein gesundes Immunsystem, das in der Vergangenheit einen verheerenden Fehler begangen hat.

Die mesenchymalen Stammzellen kommen ebenfalls aus dem Knochenmark, werden aber nicht zu Immunzellen. Im Körper werden sie normalerweise zu Fettzellen, Knorpelzellen in Gelenken oder Knochenzellen. Im Labor ist es durch die richtige Kombination von Wachstumsfaktoren und Hormonen möglich, die Entwicklung von mesenchymalen Stammzellen zu zahlreichen anderen Arten von Zellen zu bewirken, einschließlich von Nervenzellen. Das Potential der mesenchymalen Stammzellen, sich zu Nervenzellen entwickeln zu können, löste eine Flut von Forschungen über die Frage aus, ob sie zur Regeneration des Nervensystems verwendet werden können. Frühe Untersuchungen haben gezeigt, dass eine einzelne Injektion von mesenchymalen Stammzellen an Mäusen mit Multipler Sklerose die Symptome lindert. Spätere Studien haben diese Ergebnisse bestätigt, kamen aber zum Schluss, dass die mesenchymalen Stammzellen auf das Immunsystem wirkten und keine Regeneration des Nervengewebes stattfand. Obwohl die Wirkungsweise nicht ganz klar ist, so scheint es, dass mesenchymale Stammzellen, die dem Knochenmark eines Patienten entnommen wurden und anschließend wieder in die Blutbahn des gleichen Patienten injiziert werden, eine beruhigende Wirkung auf das Immunsystem haben. Da die Zellen aus dem eigenen Knochenmark des Patienten stammen, ist dieses Vorgehen sehr sicher: die Stammzellen haben die gleiche genetische Identität und erkennen ihre neue Umgebung weiterhin als "Selbst" wieder. Dieses Verfahren beinhaltet keine langfristigen Komplikationen, wenn auch die Entnahme aus dem Knochenmark schmerzlich sein kann. Es gibt zwei Gruppen, die in den USA die Verpflanzung von mesenchymalen Stammzellen vorantreiben. Sie folgen damit der Spur von

Untersuchungen in anderen Ländern, wo die mesenchymale Verpflanzung bei Multipler Sklerose einige Vorteile bei der Modulierung des Immunsystems gezeigt hat. Es bleibt anzumerken, dass eine Entwicklung von mesenchymalen Zellen zu Nervenzellen in Tieren oder Menschen nie nachgewiesen werden konnte. Selbst wenn sie in den Liquor des Patienten injiziert werden, interagieren sie anscheinend nur mit den Immunzellen des Gehirns und des Rückenmarks und werden nicht zu Nervenzellen. Ähnlich wie bei den anderen Ansätzen mit Stammzellen aus dem Knochenmark bietet auch die Verpflanzung von mesenchymalen Stammzellen kein Potential zur Regeneration des Rückenmarks.

Eine neue Zellart des Knochenmarks wurde kürzlich identifiziert und als VSEL-Stammzellen (Very Small Embryonic-Like Stem Cells, dt. sehr kleine embryonal-ähnliche Stammzellen) bezeichnet. Diese Zellen haben ihren Ursprung im Knochenmark und treten nach körperlichen Schädigungen, z.B. am Gehirn nach einem Schlaganfall, in Erscheinung. Die Zellen werden in den Blutkreislauf freigesetzt, über den sie vermutlich zum geschädigten Bereich gelangen. Es ist nicht klar, welche Rolle sie im Heilungsprozess spielen, aber ihr Potential zur Regeneration von Gehirn- und Rückenmarksgewebe wird gegenwärtig untersucht.

Stammzellen leben auch in anderen Teilen des erwachsenen Körpers. Fettgewebe enthält Stammzellen, die auf ihre Fähigkeit untersucht wurden, sich zu anderen Zellen (einschließlich Knorpelzellen) zu entwickeln. Die Verwendung von Fettstammzellen beim Ersatz lädierter Gelenke findet zunehmend Anwendung. Diese Fettstammzellen ähneln in ihrem Potential den mesenchymalen Zellen; eine Fähigkeit, Rückenmarksgewebe zu regenerieren, wurde bisher allerdings nicht nachgewiesen.

Die Nabelschnur ist eine weitere an Stammzellen reiche Quelle. Nach der Geburt bieten viele Krankenhäuser den Müttern die Möglichkeit an, die Stammzellen der Nabelschnur für eine eventuelle zukünftige Verwendung aufzubewahren. Eine verbreitete Verwendung dieser Stammzellen sind Knochenmarkstransplantationen an Geschwister, die unter

Leukämie leiden. Einige Mütter haben absichtlich ein weiteres Kind geboren, um Nabelschnurstammzellen für ihr krankes Kind zu bekommen. Diese Stammzellen ersetzen das Knochenmark nach einer aggressiven chemotherapeutischen Leukämiebehandlung und werden nicht zur Regeneration von Gehirn oder Rückenmark in Betracht gezogen.

Patienten haben gefragt, ob es möglich sei, Stammzellen aus ihrem eigenen Gehirn zu entnehmen und in ihr Rückenmark einzusetzen. Wie bereits erwähnt, befinden sich im erwachsenen Gehirn Stammzellen. Sie liegen tief im Gehirn und können, mit geringer Kapazität, auf Schädigungen im Nervensystem reagieren. Das Problem liegt darin, dass es keine verlässliche Möglichkeit gibt, um Stammzellen aus dem Gehirn zu entnehmen, ohne bedeutende Schäden zu verursachen. Die endogenen Stammzellen machen nicht mehr als einen kleinen Teil der Zellen in der Gehirnmittelpart aus und können daher nicht chirurgisch entnommen und im Labor aufbewahrt werden. Schon der bloße Versuch kann zu schweren neurologischen Beeinträchtigungen bis hin zum Tode führen. Das Unternehmen Stem Cells Inc. (Newark, CA) bietet eine Reihe neuraler Stammzellen aus erwachsenen Gehirnen an, die in aufbereiteter Form in das Gehirn von Kindern mit neuronaler Ceroid-Lipofuszinose transplantiert werden. Obwohl für diese Kinder nicht hilfreich, haben sie sich als relativ sicher und realisierbar erwiesen. Stem Cells Inc erhielt im Dezember 2010 die Genehmigung in der Schweiz eine Studie an Rückenmarksverletzten durchzuführen, in dessen Rahmen ihre aus Erwachsenen gewonnenen menschlichen Stammzellen 3 bis 12 Monate nach dem Initialtrauma in das Rückenmark von 12 Patienten verpflanzt werden sollen. Am 22. September 2011 teilte Stem Cells Inc. mit, dass die erste Transplantation ohne Komplikationen verlaufen sei. Dabei hofft das Unternehmen, dass sich diese Stammzellen an die neue Umgebung anpassen und das verletzte Rückenmark regenerieren.

Den menschlichen Stammzellen, die aus Erwachsenen gewonnen werden, wird eine beschränkte Fähigkeit zugeschrieben, sich an die Umgebung anzupassen und alle Zellarten auszudifferenzieren, die für eine Regeneration erforderlich sind. Um Stammzellen zu gewinnen, die sich besser

zur Regeneration von Rückenmarksgewebe eignen, hat die Wissenschaft zwei andere Arten von Zellen in Betracht gezogen: fötale und embryonale Stammzellen. Embryonale Stammzellen stammen aus dem frühen Embryo, einige Tage nach der Befruchtung der Eizelle. Bei anfänglichem Wachstum des Embryos teilt sich die Eizelle zunächst in zwei, dann in vier und dann acht Zellen. In diesem Zustand hat jede der acht Zellen die Fähigkeit zu einem Individuum zu werden. Würde man diese acht Zellen trennen und großziehen, so würden sie theoretisch acht vollständige und identische Menschen bilden. Sie haben die Fähigkeit, sich zu jeder Art von Zelle auszudifferenzieren und werden daher *totipotent* genannt. Nach einigen weiteren Tagen der Zellteilung bildet sich eine besondere innere Gruppe von Zellen heraus, die den Fötus bildet. Das sind die Zellen, die als embryonale Stammzellen (Abb. 1) entnommen werden. In der Regel kommen die embryonalen Stammzellen für die Forschung aus Laboren für künstliche Befruchtung. Diese Labore helfen unfruchtbaren Paaren, Kinder zu bekommen, indem die Eizellen im Labor befruchtet und anschließend in die Gebärmutter eingepflanzt werden. Dabei werden normalerweise 15-20 Embryonen erzeugt; die nicht verwendeten werden, meist auf der 8-zelligen Stufe, eingefroren. Wenn die Mutter entscheidet, keine Kinder mehr haben zu wollen, lässt das Labor der Mutter die Wahl zwischen der Vernichtung der verbliebenen Embryos oder ihrer Verwendung in Forschungseinrichtungen. In den Forschungslaboren werden die embryonalen Stammzellen unter besonderen Bedingungen gezüchtet, damit sie sich in weitere embryonale Stammzellen aufteilen. Unter anderen Bedingungen können diese embryonalen Stammzellen zu verschiedenen Gewebetypen entwickelt werden. So hat das Unternehmen Geron Inc. (Menlo Park, CA) unter Anwendung eines proprietären 42-Tage-Protokolle eine Methode zur Entwicklung von transplantierbaren Nervenzellen aus embryonalen Stammzellen entwickelt, die den Oligodendroglia gleichen, den Zellen also, die das Myelin herstellen. Geron war auch das erste Unternehmen weltweit, das eine klinische Studie mit menschlichen embryonalen Stammzellen durchgeführt hat. Nach der erfolgreichen Transplantation in 4 Patienten mit Rückenmarkstrauma unterbrach Geron am 14. November 2011 seine Stammzellenaktivitäten auf Grund finanzieller

Überlegungen. Das einzige andere US-amerikanische Unternehmen, das eine klinisch nützliche Zellreihe aus menschlichen embryonalen Zellen entwickelt hat, ist Advanced Cell Technology (ACT, Santa Monica, CA). ACT beeinflusst embryonale Stammzellen so dass sie sich zu spezialisierten Augenzellen für Patienten mit Makuladegeneration entwickeln. ACT ist einzigartig unter den Stammzellenunternehmen, weil sie ihre embryonalen Stammzellen durch sorgfältiges Herauslösen einer einzelnen Zelle aus dem 8-zelligen Embryo gewinnen, ohne die anderen 7 Zellen zu verletzen. Durch dieses Verfahren kann sich der 7-zellige Embryo potentiell zu einem vollständigen menschlichen Wesen entwickeln; dadurch wird die politisch strittige Frage der Zerstörung des Embryos vermieden.

Ein weiterer Versuch, der die politisch/ethisch sensible Frage der Zerstörung von Embryos zu vermeiden sucht, wurde von International Stem Cell Corp. (ISSC, Carlsbad, CA) durch ein als Parthenogenese bezeichnetes Verfahren entwickelt. Die Parthenogenese ist eine in der Natur vorkommende Form der Fortpflanzung, bei der das Embryo aus der Eizelle ohne Befruchtung entsteht, wodurch eine rein weibliche Spezies entsteht. 2006 erzeugte ISSC eine Stammzellenreihe aus einer menschlichen Eizelle durch chemische beeinflusste Entwicklung ohne Befruchtung. ISSC erzeugte eine Serie von parthenogenetischen Stammzellenreihe aus ethnisch verschiedenen Eizellen und erzeugte eine "Stammzellenbank", die eine Zuordnung an die Empfänger ermöglicht, um das Risiko einer immunologischen Abwehrreaktion bei der Transplantation zu verringern. Parthenogenetische Experimente an Säugetieren führten jedoch zu überwiegend nicht lebensfähigen Organismen und der Nutzen dieser Stammzellen wird in Frage gestellt.

Die Beeinflussung von Stammzellen aus menschlichen Embryonen zur Entwicklung zu interessanten Gewebearten ist schwierig. Obwohl es einigen Unternehmen gelungen ist, einige wenige spezielle Zellreihen zu erzeugen (Geron und Advanced Cell Technology, siehe oben), so ist es gegenwärtig nicht möglich, die große Mehrzahl der Zellen im menschlichen Körper künstlich aus embryonalen Stammzellen zu erzeugen. Die Biologie der Entwicklung von einem 8-zelligen Embryo zum

ausgewachsenen Menschen ist unglaublich kompliziert und die Wissenschaft hat gerade erst damit begonnen zu lernen, wie embryonale Stammzellen beeinflusst werden können, um einen klinischen Nutzen zu erhalten. Um sich in diesem Verfahren einen "Vorsprung" zu verschaffen, haben manche Gruppen untersucht, welche Möglichkeiten der Entwicklung klinisch nützlicher Stammzellen bestehen, wenn man die Stammzellen einem weiter entwickelten Fötus entnimmt. In einem weiter entwickelten Fötus befinden sich fötale Stammzellen, die sich von den embryonalen Stammzellen unterscheiden. Fötale Stammzellen sind nicht mehr in der Lage, sich zu beliebigen Gewebezellen auszudifferenzieren. Nach der 8-zelligen Stufe beginnt der Festlegungsprozess der Zellen auf eine bestimmte Gewebeart. Mit jeder folgenden Stufe entwickeln sich die Zellen im Fötus mehr hin zu dieser Gewebeart und verlieren ihre Eigenschaften als Embryonalzelle. Der Zeitpunkt der Entnahme der fötalen Stammzellen ist daher von besonderer Bedeutung: wenn ihre Entwicklung nicht weit genug fortgeschritten ist, erfolgt die gewünschte Ausdifferenzierung möglicherweise nicht ohne weitere Beeinflussung im Labor. Werden die fötalen Zellen hingegen zu spät entnommen, so kann die Ausdifferenzierung bereits so weit fortgeschritten sein, dass die Anpassung an eine neue Umwelt nicht mehr möglich ist. Unternehmen wie NeuralStem (Rockville, MD) haben aus einem 7-wöchigen Fötus eine Reihe von neuronalen Stammzellen entwickelt und die Genehmigung der amerikanischen Aufsichtsbehörde FDA erhalten um diese Zellen in das Rückenmark von Patienten mit amyotropher Lateralsklerose (ALS) zu transplantieren, um zu versuchen, die geschädigten Motoneuronen zu regenerieren und die neurologische Funktionalität wiederherzustellen.

Alle genannten Ansätze der Stammzellentherapie erfordern medikamentöse Behandlung zur Vermeidung einer immunologischen Abwehrreaktion nach der Transplantation. Wie bei anderen Organen auch, etwa Nieren oder Leber, versucht das Immunsystem des Empfängers den fremden transplantierten Teil zu entfernen, wenn das Immunsystem nicht mit Transplantationsmedikamenten unterdrückt wird. Möglicherweise kann die Notwendigkeit solcher Medikamente durch eine neue Idee vermieden werden. Die Idee besteht aus der Personalisierung von Stammzellen durch die Erzeugung von



embryonal-ähnlichen Zellreihen aus der eigenen DNA des Patienten. Einer dieser Ansätze, das Klonen, ist in den USA nicht erlaubt. Beim Klonen wird DNA aus Hautzellen des Patienten entnommen und in eine entkernte Eizelle eingepflanzt. Die Eizelle enthält die gesamte DNA-Information und ist genetisch identisch mit der des Spenders. In der Theorie würde aus diese Eizelle, wenn sie sich zu einem ausgewachsenen Menschen entwickelte, ein Klon, also eine genaue Kopie des DNA-Spenders. Tiere wurden bereits erfolgreich geklont, dazu gehört das bekannte Schaf Dolly, und viele geklonte Tiere leben normal und gesund. Beim Menschen ist das Klonen ein ethisch sensibles Thema. Die US-Amerikaner ziehen es vor, diese Problematik zu umgehen und haben beschlossen, das Verfahren insgesamt zu untersagen.

Ein japanischer Wissenschaftler hat 2006 eine andere Möglichkeit entdeckt, personalisierte Stammzellen zu erzeugen. Dazu werden einem Spender Hautzellen entnommen und vier Viren ausgesetzt, die besondere Gene enthalten, die für die frühe Zellentwicklung wichtig sind. Die Hautzellen entwickelten sich bemerkenswerterweise zurück und nahmen wieder embryonal-ähnliche Eigenschaften an. Diese Zellen werden induzierte pluripotente Stammzellen (iPS-Zellen) genannt und können aus fast allen Zellen, nicht nur Hautzellen, erzeugt werden. Beeinflusst man deren weitere Entwicklung nicht, so neigen diese iPS-Zellen dazu, zu ihrer ursprünglichen Zellform zurückzukehren. Eine Beeinflussung mit der richtigen Kombination von Wachstumsfaktoren und Hormonen kann sie dazu bringen, sich zu anderen Zellarten zu entwickeln. Theoretisch würden diese iPS-Zellen bei einer Transplantation in den Spender nicht abgestoßen, da sie als "Selbst" erkannt würden. Das Problem der Verwendung von Viren zur Erzeugung von iPS-Zellen wurde gelöst, als eine andere Gruppe nachwies, dass statt den Viren auch Proteinprodukte verwendet werden können. Ein bedeutendes Hindernis für die klinische Verwendung von iPS-Zellen liegt im Herumspielen mit Entwicklungsgenen. Dadurch besteht das Risiko, dass diese Zellen ihr Reifebewusstsein verlieren und sich zu krebsähnlichen Zellen entwickeln. Umfangreiche Sicherheitsuntersuchungen sind daher erforderlich bevor daran gedacht werden kann, iPS-Zellen in klinischen Studien zu verwenden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass das Interesse an der Verwendung von Stammzellen zur Regeneration von Gehirn und Rückenmark in den letzten 15 Jahren eine explosionsartige Verbreitung gefunden hat. Etliche klinische Studien in den USA und in Europa untersuchen bereits die Sicherheit und die Vorbedingungen der Wirksamkeit verschiedener Arten von Stammzellen für die Behandlung von Rückenmarkstraumata. Keine dieser Studien - oder anderer Stammzellenstudien am Menschen, die bisher veröffentlicht wurden - haben eine Regeneration des Rückenmarks oder Gehirns abschließend bisher nachweisen können, obwohl dies das Ziel bleibt. Etliche ausländische Unternehmen haben Webseiten veröffentlicht, auf denen "Stammzellenstudien" zur Behandlung von MS und anderen neurologischen Erkrankungen angeboten werden, aber hinter diesen Angeboten steckt wenig oder kein gesichertes Wissen. Am Panama Stem Cell Institute zum Beispiel entnehmen Ärzte mesenchymale Stammzellen aus Fettgewebe und injizieren sie dem Patienten wieder intravenös in drei Dosen im Verlauf einer Woche zum Preis von rund 5000 US-\$. Angenommen, die verwendeten Einrichtungen sind sauber und steril, ist diese Vorgehensweise wahrscheinlich sicher und die mesenchymalen Zellen können einen positiven Einfluss auf das Immunsystem ausüben, indem sie es wie oben beschrieben beruhigen. Doch die mesenchymalen Stammzellen aus Fettgewebe werden keine Regeneration des Rückenmarks oder des Gehirns bewirken. Bevor man beschließt, eine solche Reise zu unternehmen, sollte man berücksichtigen, dass jede vorangegangene Stammzellentherapie den Patienten mit großer Wahrscheinlichkeit von der Teilnahme an einer Stammzellenstudie in den USA ausschließt. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass die Forscher wissen müssen, ob die potentiellen Auswirkungen eine Folge der von ihnen transplantierten Stammzellen sind und nicht einer vorangegangenen Stammzellentherapie. Daher empfiehlt es sich im Augenblick noch, dieses Geld eher für einen entspannenden Urlaub am Strand in Panama auszugeben.

Es werden gegenwärtig keine Studien über die Behandlung von entzündlichen oder demyelinisierenden Erkrankungen des Gehirns und Rückenmarks mit Stammzellen durchgeführt, aber etliche Gruppen aus Wirtschaft und Wissenschaft arbeiten

zusammen an Tierstudien, die in der nahen Zukunft zu Studien am Menschen führen können. An der Johns Hopkins-Universität arbeiten Forscher des dortigen Transverse Myelitis Center mit dem Unternehmen NeuralStem zusammen, um im Rahmen einer Studie über transverse Myelitis und MS an Nagetieren die Möglichkeiten zu testen, die neurale Stammzellen zur Regeneration des Rückenmarks nach einer Entzündung und zur Verbesserung der neurologische Erholung bieten. Auf ähnliche Weise transplantieren sie neurale Stammzellen in die Sehnerven, um zu testen, inwiefern dadurch ein Wiedererlangen der Sehfähigkeit nach einer Optikusneuritis möglich ist. Da NeuralStems Stammzellen bereits von der FDA als sicher zugelassen sind, kann die Übertragung dieser Tierstudien auf klinische Studien am Menschen sehr viel schneller erfolgen. Unter der Voraussetzung, dass die gegenwärtigen Tierstudien erfolgreich verlaufen, sieht der Zeitplan der Johns Hopkins-TM-Gruppe die ersten Studien über transverse Myelitis und Optikusneuritis am Menschen für das Jahr 2014 vor.