

Universitätsreden

Ausgabe 14

Stammzellforschung
in der Sportmedizin



Stammzellforschung in der Sportmedizin

Univ.-Prof. Dr. Wilhelm Bloch

Rede anlässlich der Akademischen Jahresfeier 2006
an der Deutschen Sporthochschule Köln
am 7. November 2006

Köln 2007

Stammzellforschung in der Sportmedizin

Wenige Gebiete der medizinisch-biologischen Forschung haben innerhalb so kurzer Zeit ein so großes Interesse unter Wissenschaftlern und Medizinern, aber auch in der Öffentlichkeit erzeugt wie die Stammzellforschung. Dabei ist es vor allem die Diskussion um den Einsatz der embryonalen Stammzellen und deren Nutzen für die Forschung und Therapie, die weltweit zu einer Diskussion über den Einsatz dieser Stammzellen geführt hat. Vor allem unter ethischen Aspekten ist die Therapie mit embryonalen Stammzellen umstritten. Doch Stammzellen sind nicht gleich Stammzellen, insbesondere sind Stammzellen nicht nur auf die Zeit der embryonalen und fetalen Entwicklung beschränkt, sondern bestehen auch im adulten Organismus weiter. Daher kann man grundsätzlich die embryonalen von den adulten Stammzellen unterscheiden. Im Folgenden wird die adulte Stamm- und Vorläuferzelle im Mittelpunkt stehen, da sie durch körperliche Aktivität beeinflusst werden kann. Obwohl seit langem bekannt ist, dass eine Reihe von Geweben und Organen durch Stamm- und Vorläuferzellen regeneriert werden, ist das Interesse für Stamm- und Vorläuferzellen erst in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Dies rührt insbesondere daher, dass für Gewebe, die bisher als nicht regenerierbar galten, Stamm- und Vorläuferzell-vermittelte Regeneration gezeigt werden konnte. Überraschend ist eigentlich wie wenig bisher der Aspekt körperliche Aktivität und Stamm- und Vorläuferzell-abhängige Regeneration beleuchtet wurde, obwohl doch für die Skelettmuskulatur bekannt ist, dass sie muskelständige Stamm- und Vorläuferzellen für das Muskelwachstum und die Muskelreparatur nutzt und dass körperliches Training die Stamm- und Vorläuferzellen im Skelettmuskel aktiviert. Es erscheint daher angebracht, das Thema ‚Stamm- und Vorläuferzellen in der Sportmedizin‘ etwas näher zu betrachten.

Ich möchte das Thema ausgehend von fünf Fragen und deren Beantwortung vorstellen. 1. Was sind Stammzellen und Vorläufer-

zellen? 2. Was können Stammzellen und Vorläuferzellen? 3. Welche Rolle spielen Stammzellen und Vorläuferzellen im adulten Organismus? 4. Was hat körperliche Aktivität für einen Einfluss auf Stammzellen und Vorläuferzellen? 5. Welche Rolle wird Stamm- und Vorläuferzellforschung in Zukunft in der Sportmedizin einnehmen? Wenden wir uns den ersten beiden Fragen zu und betrachten, was Zellen zu Stamm- und Vorläuferzellen charakterisiert, was Stamm- und Vorläuferzellen unterscheidet und was Stamm- und Vorläuferzellen können. Es handelt sich bei den Stamm- und Vorläuferzellen um unspezialisierte oder wenig spezialisierte Zellen, die in der Lage sind, zu spezialisierten Zellen zu differenzieren. Die Eigenschaft dieser Zellen, sich in divergente Zelllinien umzuwandeln, wird auch als Transdifferenzierung bezeichnet. Sie spielen eine zentrale Rolle während der embryonalen und fetalen Entwicklung, sind aber auch im adulten Organismus vorhanden. Stammzellen sind unspezialisierte Zellen, die im Falle der adulten Stammzellen in der Lage sind, sich idealer Weise über die gesamte Lebensdauer des Organismus zu vermehren, ihre Stammzellpopulation zu erhalten sowie sich in unterschiedlich spezialisierte Zelltypen zu entwickeln. Das Produkt einer sich asymmetrisch teilenden Stammzelle ist in der Regel eine neue Stammzelle und eine spezialisierte Zelle bzw. eine Zwischenstufe, die als Vorläuferzelle bezeichnet wird. Obwohl die Definition von Stamm- und Vorläuferzelle in der Literatur häufig verschwimmt, handelt es sich bei einer Vorläuferzelle um eine Zelle, die bereits eine partielle Differenzierung durchgemacht hat und grundsätzlich auf einen bestimmten zellulären Differenzierungsweg festgelegt ist. Sie kann ihre Zellpopulation nicht selbstständig unterhalten, es müssen immer wieder neue Vorläuferzellen aus Stammzellen entstehen, um den Vorläuferzellpool aufrechtzuerhalten.

Die Hauptquelle für Stamm- und Vorläuferzellen im adulten Organismus ist das Knochenmark. Die hier zu findenden Stammzellen können in zwei Typen unterschieden werden: die hämatopoetischen und die mesenchymalen Stammzellen, die sich hinsichtlich ihres Differenzierungspotenzials unterscheiden. Diese können im Falle der hämatopoetischen Stammzellen zu allen

Zellen des Bluts oder im Falle der mesenchymalen Stammzellen zu verschiedenen anderen Zelltypen, wie z.B. Osteoblasten, Muskelzellen, Fettzellen, Epithelzellen und Nervenzellen differenzieren. Darüber hinaus wird zunehmend deutlich, dass Stamm- und Vorläuferzellen auch in vielen anderen Geweben zu finden sind, wie z.B. in der Skelettmuskulatur, im Herzmuskel, in den Gefäßwänden und im Gehirn. Im Gefäßsystem sind es vor allem die endothelialen Vorläuferzellen, die dort gefunden werden.

Es gibt darüber hinaus Hinweise, dass verschiedene Stamm- und Vorläuferzellen im Sinne der Differenzierungskonvergenz einen spezialisierten Zelltypen bilden, wie etwa für Endothelzellen angenommen wird. Es konnte gezeigt werden, dass Endothelzellen nicht nur aus mesenchymalen Stammzellen sondern auch aus hämatopoetischen Stammzellen entstehen können. Das bedeutet, auch wenn es bevorzugte Stamm- und Vorläuferzellen für spezifische Gewebe gibt, kann eine spezifische Geweberegeneration auch durch Stamm- und Vorläuferzellen übernommen werden, die normalerweise für den Ersatz von anderen spezialisierten Zellen und Geweben verantwortlich sind. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass Stamm- und Vorläuferzellen auch im adulten (ausgewachsenen) Organismus eine entscheidende Rolle beim Zell-, Gewebe- und Organerhalt spielen. Dies beantwortet auch die dritte Frage nach der Rolle von Stammzellen und Vorläuferzellen im adulten Organismus.

Dass körperliche Aktivität für den Erhalt und die Regeneration von Zellen, Geweben und Organen eine wichtige Rolle einnimmt, ist ebenso in den letzten Jahren offensichtlich geworden. Daher liegt es nahe, nach einer Verbindung zwischen körperlicher Aktivität und Stamm- und Vorläuferzellen zu fragen. Dies führt uns zur zentralen Frage des heutigen Tages: Was hat körperliche Aktivität für einen Einfluss auf Stammzellen und Vorläuferzellen?

Um diese Frage zu beantworten macht es Sinn erstmal die Skelettmuskulatur anzuschauen. Seit langem ist bekannt, dass die Regeneration der Skelettmuskulatur von Satellitenzellen abhängig ist, die zu den ortsständigen Stamm-/Vorläuferzellen zu zählen sind. Da

körperliche Aktivität intensitätsabhängig zu Muskelschäden und Wachstumsreizen führt, liegt es nahe, dass ein Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Satellitenzellaktivierung besteht, was bereits vor mehr als 20 Jahren aufgezeigt werden konnte. Körperliches Training kann die Umwandlung von Satellitenzellen aus ihrem ruhenden Zustand in einen aktivierten Zustand induzieren, dabei fangen die Satellitenzellen nicht nur an sich zu teilen, sondern wandeln sich in Myoblasten um, die mit einer bestehenden Skelettmuskelfaser verschmelzen und damit Muskelwachstum und -regeneration ermöglichen. Neben den Satellitenzellen konnten in der Skelettmuskulatur multipotente Muskelstammzellen identifiziert werden, die in die Skelettmuskelregeneration eingreifen und von denen darüber hinaus angenommen wird, dass sie zu Nichtmuskelzellen differenzieren können. Welche Rolle körperliche Aktivität bei der Aktivierung dieser Stammzellen spielt, ist bisher nicht untersucht. Die Regeneration der Skelettmuskulatur ist jedoch nicht nur von den ortsständigen Stammzellen abhängig, sondern kann auch durch Knochenmarkszellen mitgetragen werden. Bei diesen muskelregenerierenden Knochenmarkszellen kann es sich sowohl um hämatopoetische als auch mesenchymale Stammzellen handeln. Kürzlich konnte mit einem eleganten Experiment durch die Gruppe von Helen Blau für Knochenmarkszellen gezeigt werden, dass die MSC und HSC nicht nur nach Muskelschädigung, sondern auch auf einen Trainingsreiz hin verstärkt zur Muskelregeneration beitragen. Es wurde dabei bei Mäusen das Knochenmark zerstört und durch Spenderknochenmark ersetzt, welches einen fluoreszierenden Vitalmarker enthielt. Dadurch konnte nachvollzogen werden, ob Zellen aus dem Knochenmark in die Muskulatur wandern und dort mit den Skelettmuskelfasern fusionieren. Bereits nach einer Woche Laufbandtraining konnte bei den Mäusen eine mehr als 10-fache Steigerung des Einbaus von Knochenmarksstammzellen in die Skelettmuskulatur beobachtet werden. Training könnte hierbei über eine erhöhte Differenzierung von Knochenmarksstammzellen zu Satellitenzellen zur Steigerung der Muskelregeneration führen.

Neben dem Skelettmuskel sind bei körperlicher Belastung vor allem Anpassungen im Bereich des Kardiovaskularsystems und der Hämatopoese notwendig. In den letzten Jahren konnte in zahlreichen

Studien gezeigt werden, dass Stammzellen und Vorläuferzellen sowohl bei der Hämatopoese, der Regeneration der Herzmuskulatur, als auch bei der Gefäßregeneration und Neubildung eine wichtige Rolle spielen. Es konnte gezeigt werden, dass mesenchymale Stammzellen zu Kardiomyozyten werden oder zumindest mit bestehenden Kardiomyozyten fusionieren, sowie dass neue Gefäße aus endothelialen Vorläuferzellen, z.B. bei der Wundheilung nach Infarkten, gebildet werden und die endothelialen Vorläuferzellen über Ersatz des die Gefäße auskleidenden Endothels zu einer Gefäßprotektion führen (Abb. 1).

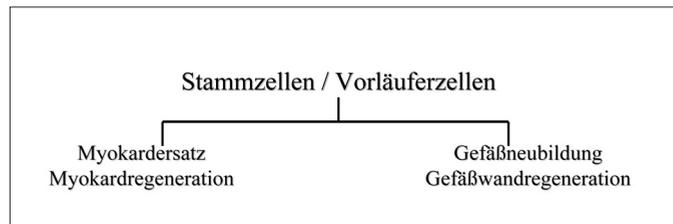


Abb. 1

Daraus ergibt sich die Frage nach einem Zusammenhang zwischen einer Aktivierung von Stammzellen oder Vorläuferzellen und körperlicher Aktivität für die Regeneration des Herzkreislauf- und des Blutsystems. Neue Studien aus den letzten drei Jahren zur Bedeutung von körperlicher Aktivität für endotheliale Vorläuferzellen belegen einen Zusammenhang zwischen Training und der Zahl zirkulierender endothelialer Vorläuferzellen im Blut. Während die Gruppen um Adams und Rehman den Einfluss einer einzigen Trainingseinheit auf die endotheliale Vorläuferzell-Mobilisierung gezeigt haben, konnte die Gruppe um Laufs in ihrer Studie nachweisen, dass ein regelmäßiges Training über 4 Wochen zu einer andauernden Erhöhung der endothelialen Vorläuferzellen im Blut führt. Interessanterweise geben die Untersuchungen zum Einfluss einer einzigen Trainingseinheit Hinweis, dass eine sehr schnelle kurzfristige Freisetzung von endothelialen Vorläuferzellen, innerhalb von Minuten, gefolgt wird von einer zweiten Phase der endothelialen Vorläuferzell-Erhöhung im Blut nach 24 bis 48 Stunden. Es lässt sich annehmen, dass unterschiedliche Me-

chanismen für die Erhöhung der endothelialen Vorläuferzellen im Blut verantwortlich gemacht werden können. Die Bedeutung dieser endothelialen Vorläuferzell-Erhöhung im Blut zeigt sich im Mausmodell, hier kommt es korrelierend zur Erhöhung der endothelialen Vorläuferzellen zu einer Neubildung von Gefäßen und einer Reduktion der Neointimabildung nach experimenteller Gefäßschädigung. Ein vierwöchiges Trainingsprogramm bei Patienten mit peripheren arteriellen Verschlusskrankheiten führt nicht nur zur Mobilisierung der endothelialen Vorläuferzellen, sondern ändert auch ihre Eigenschaften. Die endothelialen Vorläuferzellen zeigen nach der Trainingsperiode eine erhöhte Expression des Chemoattraktionsrezeptors CXCR4, der bei der Steuerung der transendothelialen Migration eine wichtige Rolle spielt und eine erhöhte Fähigkeit zur Zusammenlagerung von endothelialen Vorläuferzellen zu vaskulären Strukturen hervorruft. Dies deutet an, dass körperliches Training eine endotheliale Vorläuferzell-Mobilisierung hervorruft, die zu einem Schutz vor Gefäßerkrankungen führt und bei der Regeneration von Gefäßerkrankungen helfen kann.

Neben den endothelialen Vorläuferzellen werden im Blut weitere Vorläuferzellen gefunden, die hämatopoetischen Vorläuferzellen, die von einer gemeinsamen Stammzelle abstammen können. Auch für die hämatopoetischen Vorläuferzellen konnte gezeigt werden, dass ein einzelner Trainingsreiz zu einer kurzfristigen Mobilisierung führt, und dass regelmäßiges Lauftraining zu einer andauernd erhöhten Zahl dieser Zellen im Blut führt. Die ersten Hinweise für den Einfluss von körperlicher Aktivität auf hämatopoetische Vorläuferzellen im Blut wurden bereits vor 20 Jahren gefunden, doch erst in den letzten Jahren hat dieser Aspekt an Bedeutung gewonnen und ist zum Gegenstand neuer Forschungsanstrengungen geworden.

Der Nachweis der Rolle von körperlicher Aktivität auf die Stamm- und Vorläuferzellaktivierung nicht ortsständiger sondern auch ortsferner Stammzellen legt die Frage nahe, wie körperliche Aktivität zu der Steigerung von Stamm- und Vorläuferzellabhängigem Wachstum und Regeneration führen kann. Dafür erscheint es wichtig, den Weg einer Stamm- oder Vorläuferzelle von ihrem Wirtsgewebe ins Zielgewebe zu betrachten. Nur so werden die möglichen mechanistischen Ansatz-

punkte körperlicher Aktivität ersichtlich. Die Mobilisierung und Aktivierung von Stamm- und Vorläuferzellen ist ein Vorgang, der über eine Abfolge von Mechanismen abläuft. So müssen die Zellen aus dem Wirtsgewebe freigesetzt werden, zum Gefäß migrieren und eine transendotheliale Migration durch die Gefäßwand durchlaufen. Nach Zirkulation im Gefäßsystem im Zielgewebe eine weitere transendotheliale Migration durchlaufen, eine Invasion ins Zielgewebe durchführen und an die Zielzellen anheften. Während dieses Prozesses unterliegen die Zellen zellbiologischen Prozessen wie Apoptose, Proliferation und Differenzierung und sollten idealerweise im Zielgewebe eine Transdifferenzierung zu Zellen des Zielgewebes machen (Abb. 2). Für die Satellitenzellen sind es vor allem Proliferation und Differenzierung, die durch Trainings-induzierbare Faktoren angeschoben werden.

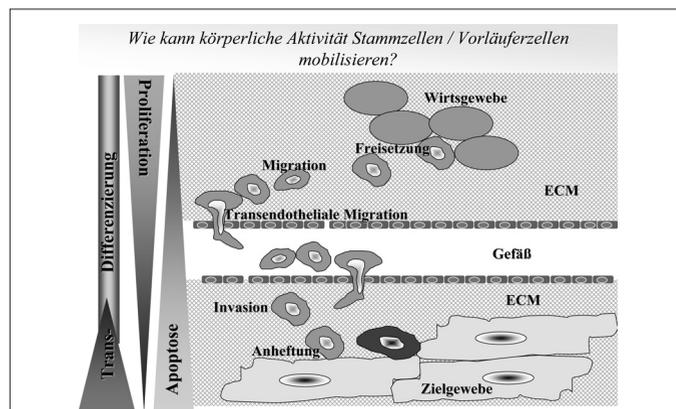


Abb. 2

Da bisher nur wenig über den mechanistischen Einfluss von körperlicher Aktivität auf die Stamm- und Vorläuferzellen bekannt ist, haben wir in eigenen Untersuchungen die Bedeutung von körperlicher Aktivität auf mesenchymale Stammzellen und die Art der Beeinflussung untersucht. Die Arbeitsgruppe von Annette Schmidt in meinem Labor konnte zeigen, dass bereits eine einmalige kurzfristige Ausbelastung eine belastungsinduzierte Konditionierung des Blutserum hervorruft, die zu einer Förderung der Migration von mesenchymalen

Stammzellen führt, wenn sie mit diesem Serum kultiviert werden. Eine entsprechende längerfristige Aktivierung konnte auch bei einer Pilotstudie im Rahmen des Inka-Laufs beobachtet werden, bei dem Läufer und Begleiterteam während eines 4-wöchigen Lauf auf den alten Poststraßen der Inkas in durchschnittlich 3800 m Höhe unter höhenbedingter Hypoxie 28 km pro Tag liefen. Insgesamt zeigt diese Studie, die mit dem Institut für Trainingswissenschaften und Sportinformatik durchgeführt wurde, dass sowohl Höhenaufenthalt als auch Lauftraining zu einer Konditionierung des Blutserums führen, die die Migration von mesenchymalen Stammzellen fördert (Abb. 3).

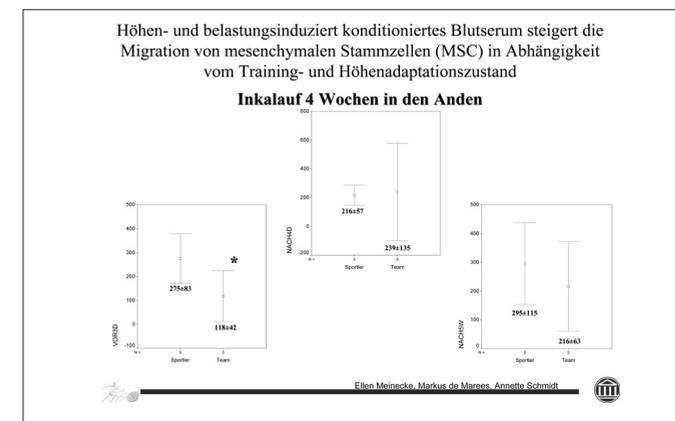


Abb. 3

Die beschriebenen Effekte auf EPC und unsere eigenen Ergebnisse zur Wirkung von belastungskonditioniertem Blutserum legen nahe, dass Faktoren beim Training ausgeschüttet werden, die über parakrine Effekte auf die Stamm- und Vorläuferzellen einwirken. Die Gruppe um Laufs konnte zeigen, dass eine parallele Erhöhung des sog. ‚vascular endothelial growth factors‘ (VEGF) zu beobachten und Stickstoffmonoxid (NO) für eine Steigerung der zirkulierenden EPC notwendig ist. Für andere Faktoren, die zu einer Aktivierung und Mobilisierung von Stamm- und Vorläuferzellen führen, wie Interleukin 6, Erythropoietin (auch EPO genannt) und ‚Insulin like growth factor-1‘ (auch IGF-1 genannt), konnte bereits gezeigt werden, dass sie durch Training oder

Hypoxie erhöht werden. Für andere Stamm- und Vorläuferzellen mobilisierende Faktoren wie dem ‚granulocyte colony stimulating factor‘ (kurz G-CSF genannt) und ‚basic fibroblast growth factor‘ (kurz bFGF genannt) gibt es kontroverse Ergebnisse zur Trainings-induzierten Freisetzung. Für den Liganden des CXCR4-Rezeptor, den ‚stem cell derived factor 1‘ (kurz SDF-1 genannt), konnte bisher keine erhöhte Freisetzung durch Training aufgezeigt werden, die Wirkung könnte jedoch über die erhöhte Expression des CXCR4-Rezeptors erfolgen (Abb. 4).

Führt körperliche Aktivität zu einer Ausschüttung von Faktoren mit bekannter Wirkung auf die Stammzell- / Vorläuferzellmobilisierung?

Faktor	Trainingsbedingte Erhöhung	Reference
SDF-1	nein	Morici et al. Am J Physiol 2005
G-CSF	nein / ja	Morici et al. Am J Physiol 2005 Hiroshi et al. Exerc Immunol Rev 2004
VEGF	ja	Laufs et al. Circulation 2004 Sandri et al. Circulation 2005
EPO	ja	Jelkmann J Endocrinol Invest. 2003
IL-6	ja	Febbraio and Pedersen FASEB J 2002
bFGF	nein/ja	Yang et al. Am. J. Physiol. 1998
IGF-1	ja	Berg and Bang Hom Res 2004
NO	ja	Kingwell FASEB J 2000

Abb. 4

Eigene Untersuchungen mit Hilfe von Proteinarrays zeigen, dass eine einmalige Ausbelastung zu Veränderungen der Cytokine und Wachstumsfaktoren im Blut führt, die zumindest teilweise in Zusammenhang gebracht werden kann mit der Mobilisierung von Stamm- und Vorläuferzellen. Hierbei fällt vor allem das IL-6 auf, das deutlich ansteigt. IL-6 ist einer der Faktoren, die für eine Steigerung der Migration von mesenchymalen Stammzellen sorgen, wie eigene Arbeiten zeigen. So konnte die Arbeitsgruppe um Annette Schmidt in meiner Abteilung zeigen, dass eine Reihe der bereits genannten und aus der Literatur bekannten Faktoren, die unter bzw. nach körperlicher Belastung freigesetzt werden, zu einer Steigerung der Migration von mesenchymalen Stammzellen führen. Wir konnten in verschiedenen

zum Teil selbst entwickelten Migrationsassays zeigen, dass neben dem IL-6 z.B. auch EPO und VEGF zu einer Steigerung der Migration führen. Besonders deutlich ist die Steigerung unter dem Fibroblastenwachstumsfaktor bFGF ausgeprägt. Hier konnten wir zeigen, dass bFGF nicht nur die Migration von mesenchymalen Stammzellen steigert, sondern auch die Ausrichtung des Zytoskeletts verändert, was auf die gerichtete Wanderung der mesenchymalen Stammzellen hindeutet. Für das EPO konnten wir zudem zeigen, dass es nicht nur die Migration von mesenchymalen Stammzellen steigert, sondern auch die von endothelialen Vorläuferzellen. Dies ist jedoch nicht der einzige Effekt von EPO auf die endothelialen Vorläuferzellen. EPO steigert daneben noch die Proliferation und hemmt die Apoptose von endothelialen Vorläuferzellen, darüber hinaus führt es zu einer verstärkten Differenzierung der endothelialen Vorläuferzellen hin zu venösen Endothelzellen (Abb. 5).

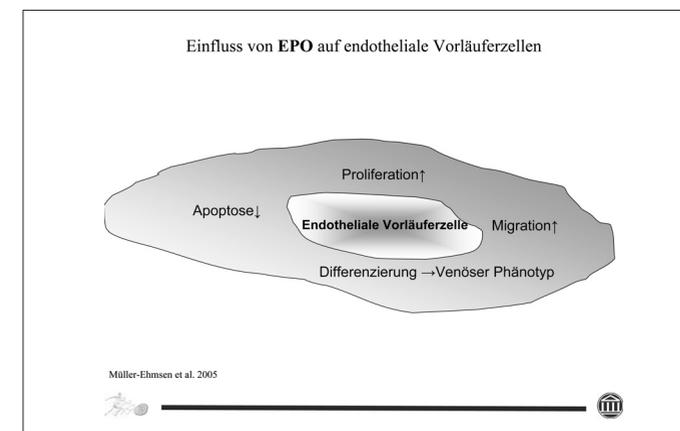


Abb. 5

Für einen weiteren Wachstumsfaktor, den wir in Zusammenhang mit der Steigerung der Migration von mesenchymalen Stammzellen bringen konnten, das VEGF, konnte von der Gruppe um Laufs gezeigt werden, dass dieser Faktor auf die endothelialen Vorläuferzellen wirkt, dass körperliche Aktivität parallel mit der erhöhten Mobilisierung zu einer Erhöhung des Stickstoffmonoxid (NO) ein

wichtiges zwischengeschaltetes Signalmolekül ist, das für die VEGF-Wirkung auf die endothelialen Vorläuferzellen von entscheidender Bedeutung ist. Die schnelle Erhöhung der endothelialen Vorläuferzellen im Blut nach körperlicher Belastung lässt vermuten, dass die Vorläuferzellen aus dem Knochenmark ins Blut freigesetzt werden. Dieser Prozess kann nur ablaufen, wenn, wie bereits erwähnt, die Zellen durch die Gefäßwand geschleust werden. Hierzu ist eine transendotheliale Migration nötig. Bisher ist für Stamm- und Vorläuferzellen praktisch fast nichts zu diesem Prozess bekannt. Daher beschäftigen wir uns seit mehr als vier Jahren mit der Frage, wie Stamm- und Vorläuferzellen durch die Gefäßwand und insbesondere die Endothelbarriere wandern. Die in vitro Versuche an Endothelzellmonolayern und an isoliert perfundierten Herzen zeigen, dass zumindest mesenchymale Stammzellen innerhalb von wenigen Stunden die Endothelschicht durchwandern können. So zeigen sich bei einer Perfusion von isolierten Mäuseherzen mit vitalmarkierten mesenchymalen Stammzellen bereits nach 60 min zahlreiche grünmarkierte mesenchymale Stammzellen, die durch die mit einer speziellen Endothelfärbung rot markierte Endothelschicht von Herzgefäßen wandern.

Eine entsprechende Zeitkinetik des transendothelialen Übergangs konnte auch in Ko-Kulturexperimenten von Caroline Steingen in meiner Abteilung nachgewiesen werden, auch hier kommt es bereits nach weniger als einer Stunde zu einer beginnenden Integration der mesenchymalen Stammzellen in den Endothelmonolayer und nach mehreren Stunden sind die mesenchymalen Stammzellen durch den Endothelmonolayer migriert.

Es zeigt sich aber gerade für die transendotheliale Migration zwischen mesenchymalen Stammzellen und endothelialen Vorläuferzellen ein deutlicher Unterschied hinsichtlich des Wanderungspotenzials durch die Endothelschicht. Die Steuerungsmechanismen der transendothelialen Migration sind jedoch bis heute weitgehend ungeklärt, auch wenn wir vor kurzem einige Oberflächenrezeptoren identifizieren konnten, die für die transendotheliale Migration von mesenchymalen Stammzellen notwendig sind. Vollständig ungeklärt ist die Frage, ob körperliche Aktivität die transendotheliale Migration fördert. Die ver-

besserte Integration von endothelialen Vorläuferzellen ins Endothel und eine Erhöhung des CXCR4-Rezeptors, der für die Steuerung der transendothelialen Migration von Leukozyten und hämatopoetischen Stammzellen eine Rolle spielt, weisen jedoch daraufhin, dass Training zu einer Steigerung der transendothelialen Migration führen kann. Eigene laufende Untersuchungen haben derzeit zum Ziel, der Antwort auf die Frage nach der Steigerung der transendothelialen Migration durch körperliches Training und den zugrunde liegenden Regulationsmechanismen näher zu kommen.

Zusammenfassend zeigen die bisherigen Erkenntnisse und unsere eigenen Ergebnisse: 1. Körperliche Aktivität hat einen Einfluss auf Stamm- und Vorläuferzellen unterschiedlicher Herkunft. 2. Es werden unterschiedliche Mechanismen über körperliche Aktivität angeregt, die für die Mobilisierung der Stammzellen notwendig sind. 3. Eine wichtige Rolle für die Aktivierung spielen Wachstumsfaktoren und Zytokine, die bei körperlicher Aktivität freigesetzt werden. Daraus kann gefolgert werden, dass das Wissen um die Bedeutung von Training für die Aktivierung von Stammzellen und Vorläuferzellen rudimentär ist. Insbesondere ist sehr wenig über steuernde Faktoren und die in die Aktivierung einbezogenen Mechanismen bekannt. Es kann jedoch durchaus spekuliert werden, dass neben der bekannten Rolle von körperlicher Aktivität bei der Stamm- und Vorläuferzell-vermittelten Regeneration, dieser eine wichtige Rolle bei anderen Stamm- und Vorläuferzell abhängigen Regenerationsprozessen zukommt. Es ist zu erwarten, dass die Stamm- und Vorläuferzellforschung in Zukunft in der Sportmedizin eine zentrale Rolle einnehmen wird.

Der Autor

Wilhelm Bloch, Univ.-Prof. Dr. med., geb. 1959 in Ingelheim

1980–1985 Studium der Medizin an der Universität Mainz
1982–1985 Studium der Philosophie an der Universität Mainz
1985–1986 Praktisches Jahr am Städtischen Krankenhaus Idar-Oberstein
1987–1988 Stabsarzt bei der Bundeswehr im Rahmen des Wehrdienstes
1988–1991 Studium der Physik an der Universität Mainz
1991–1996 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut I für Anatomie an der Universität zu Köln

1994 Promotion an der medizinischen Fakultät zu Köln
1996–2001 Wissenschaftlicher Assistent am Institut I für Anatomie an der Universität zu Köln
2000 Habilitation an der Universität zu Köln im Fach Anatomie und Zellbiologie
2001–2003 Wissenschaftlicher Oberassistent am Institut I für Anatomie an der Universität zu Köln

seit 01.01.2004 C4-Professor für Molekulare und Zelluläre Sportmedizin an der Deutschen Sporthochschule Köln

seit 01.01.2007 Geschäftsführender Direktor des Instituts für Kreislaufforschung und Sportmedizin an der Deutschen Sporthochschule Köln

Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Vereinigungen

Anatomische Gesellschaft
Deutsche Kardiologische Gesellschaft
Deutscher Hochschulverband
Deutsche Gesellschaft für Zellbiologie

Deutschen Sporthochschule Köln

Universitätsreden

- 1 Walter Tokarski**
Schieflagen – Die Europäische Union, die Kultur und die universitäre Bildung an der Schwelle des 21. Jahrhunderts. (Köln 1999)
- 2 Eike Reschke**
Entwicklung und Perspektiven des Sportrechts.
Udo Steiner
Sport und Staat. (Köln 2000)
- 3 Johannes Horst**
Hochschullehrer und Verwaltung – ein Antagonismus? (Köln 2000)
- 4 Georg Anders**
Der Sportverein. Kitt der Gesellschaft? (Köln 2001)
- 5 Michael Vesper**
Die Rolle des Sports in Nordrhein-Westfalen und die Förderung des leistungssportlichen Nachwuchses. (Köln 2002)
- 6 Hans Lenk**
Werte als Interpretationskonstrukte. (Köln 2002)
- 7 Friedhelm Neidhardt**
Leitbild und Profilbildung der Deutschen Sporthochschule aus der Sicht eines Betrachters. (Köln 2002)
- 8 Fritz Pleitgen**
Olympia und die elektronischen Medien. (Köln 2003)
- 9 Helmut Schmidt**
Die Bedeutung des Sports für die Gesamterziehung (Köln 1979)
- 10 Jörg Thiele**
Zwischen 'Atopia' und 'Utopia' – Anmerkungen zur Entwicklung der Sportlehrerbildung an der Sporthochschule. (Köln 2004)
- 11 Wildor Hollmann**
Naturwissenschaft und Technik im 20. Jahrhundert – Interdisziplinäre Ausschnitte. (Köln 2005)
- 12 Hartmut Schiedermaier**
Wissenschaft im Dienst der Menschenwürde. (Köln 2005)
- 13 Friedhelm Neidhardt**
Sport und Medien.
Wladimir Andreef
International Labour Migration in Sport. (Köln 2006)

Impressum

Herausgeber

Univ.-Prof. mult. Dr. Walter Tokarski
Rektor der Deutschen Sporthochschule Köln

Redaktion

Sabine Maas
Deutsche Sporthochschule Köln,
Presse-, Informations-, und Transferstelle
Carl-Diem-Weg 6, 50933 Köln
Fon 0221 - 4982-3850
Fax 0221 - 4982-8400

Design

Nadine Wilms, www.loewentreu.de

Druck

Achenbach-Druck, Hamm

Auflage

1.000