

## **Neuromechanische Beeinträchtigung von Bewegung durch Haltung:**

### **Befunde bei Alexander-Technik-Lehrern in der Bewegung „vom-Sitzen-zum-Stehen“**

(Neuromechanical interference of posture on movement: evidence from Alexander technique teachers rising from a chair)

Timothy W. Cacciatore, Omar S. Mian, Amy Peters and Brian L. Day.

*Journal of Neurophysiology, J Neurophysiol 112:719-729, 2014. First published 14 May 2014*

#### **Kurzbeschreibung**

*Frühere Studien lassen die Hypothese plausibel erscheinen, dass die automatische Haltungskoordination (anti-gravity postural support) Auswirkungen auf Bewegungsabläufe hat. Cacciatore et al. wählen die Bewegung „vom-Sitzen-zum-Stehen“ (Sit-to-stand) als Bezugsrahmen, um Mechanismen gegenseitiger Beeinträchtigung der motorischen Teilaufgaben Bewegung, Balance und Haltung zu überprüfen. Dazu werden Daten von 10 gesunden, untrainierten Erwachsenen (GU) und von 10 Alexander-Technik-Lehrern (AT) beim Aufstehen unter unterschiedlichen Bedingungen erhoben. AT-Lehrer zeigen eine höhere Fähigkeit, mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fließend aufzustehen. Die Datenanalyse und Simulationen mit einem ComputermodeLL zeigen, dass die Haltungskoordination einen hohen Einfluss auf die Bewegungskoordination hat, bzw. dass eine ungünstige Haltungskoordination alltägliche Bewegungsabläufe hochgradig beeinträchtigen können. Dies sollte auch bei der Entwicklung von Bewegungstrainings für ältere Menschen berücksichtigt werden.*

#### **Hintergrund**

Schwierigkeiten bei der Ausführung komplexer Bewegungen können auf allen Fähigkeitsniveaus vorkommen – ein hochtrainierter Tänzer kämpft möglicherweise mit der Ausführung einer Arabesque, ein älterer Mensch hat vielleicht Schwierigkeiten damit, von einem Stuhl aufzustehen. Jede Handlung des gesamten Körpers erfordert es, gleichzeitig folgende motorische Teilaufgaben zu koordinieren: 1) die Ausführung des Bewegungsplans (**Bewegung**), 2) Sicherstellen, dass der Körperschwerpunkt über dem Unterstützungspunkt balanciert wird (**Balance**), und 3) Verhindern eines Kollabierens der Haltung im Bezug zur Schwerkraft (**Haltung**). Diese Komponenten können sich wechselseitig beeinträchtigen, wodurch es zu Störungen im Bewegungsablauf kommen kann. (Beim Aufstehen von einem Stuhl würde sich dies beispielsweise durch ein „Zurückplumpsen“ zeigen.) Aber: Wie kommt es dazu?

#### **Ziel der Studie**

Aufgrund früherer Studien schien die Hypothese plausibel, dass sich die automatische Haltungskoordination (anti-gravity postural support) auf Bewegungsabläufe auswirkt. Cacciatore et al. wählen die Bewegung vom Sitzen zum Stehen (Sit-to-stand) als Paradigma, um Mechanismen der wechselseitigen Beeinträchtigung der motorischen Teilaufgaben Bewegung, Balance und Haltung zu überprüfen. Ziel der Studie ist es, mögliche alternative Erklärungen zu prüfen und ein Modell zu entwickeln, wie Haltung auf Bewegung einwirkt.

#### **Methode**

*Versuchspersonen:* Eine Gruppe von 10 Alexander-Technik-Lehrern (AT) wurde mit einer Gruppe gesunder untrainierter Erwachsenen (GU) verglichen. Die Kontrollgruppe hatte keine

gesundheitlichen Probleme und war in Bezug auf Alter, Geschlecht, Gewicht und Größe mit der AT-Gruppe vergleichbar (matched sample).

*Experiment:* Die Teilnehmer sitzen auf einem Stuhl und werden gebeten, mit gleichmäßiger Geschwindigkeit aufzustehen. Die Sitzposition (Stuhlhöhe, Gesäßposition, Abstand der Füße zueinander) ist genau festgelegt. Variiert wird:

A) Geschwindigkeit. Die Teilnehmer sollen in 1 Sekunde, 2 Sekunden, 4 Sekunden oder 8 Sekunden aufstehen. Sie werden gebeten, mit gleichbleibender Geschwindigkeit aufzustehen.

B) Position der Füße. Die Teilnehmer platzieren Ihren Unterschenkel entweder senkrecht ( $0^\circ$ ) oder leicht gebeugt ( $10^\circ$  und  $20^\circ$ ), so dass die Füße näher am Stuhl stehen.

*Messung:* Über Kraftmessplatten im Stuhl und unter den Füßen wurde die Gewichtsverteilung über die Zeit festgestellt. Ein Bewegungserfassungssystem registrierte die Bewegungen der Versuchspersonen. Mit den gesammelten Rohdaten wurden folgende Werte ermittelt und analysiert:

- **Dauer der Bewegung**
- **Gewichtsverlagerung:** Die Gewichtsverlagerung wurde über die Aufstehzeit ermittelt. Dabei wurden die maximalen Kräfte der Knie- und Hüftextensoren (Knie- und Hüftstrecker) errechnet.
- **Geschwindigkeit des Schwerpunkts:** Die Vorwärtsbewegung des Rumpfs wurde quantitativ durch die Geschwindigkeit des Schwerpunkts bestimmt. Dazu wurden die mit dem Bewegungserfassungssystem gewonnenen Daten verarbeitet und in ein kinetisches Computermodell umgewandelt.
- **Balance auf beiden Füßen:** Diese wurde erhoben durch die Messung der Distanz zwischen dem Zentrum der Masse des ganzen Körpers und dem kombinierten Zentrum des Drucks der Füße zum Zeitpunkt des Aufstehens. Positive Werte zeigen an, dass zum Zeitpunkt des Verlassen des Stuhles ("seat-off") der Körperschwerpunkt vor dem Mittelpunkt des Auflagedrucks beider Füße liegt.

## **Ergebnisse**

### *Gewichtsverlagerung:*

Bei sämtlichen Versuchsbedingungen zeigte sich bei der GU Gruppe eine kürzere Dauer der Gewichtsverlagerung, verbunden mit einem rascheren Anstieg des Drucks auf die Füße als bei den AT-Lehrern. Auffällig war, dass unter der Bedingung „längere Aufstehzeit“ die GU Gruppe nicht in der Lage war, die Dauer der Gewichtsverlagerung zu verlängern.

### *Geschwindigkeit des Schwerpunkts:*

Beide Gruppen zeigten bei kurzer Ausführungsdauer der Aufgabe (1-2 Sek.) eine Steigerung der Geschwindigkeit des Schwerpunkts kurz vor dem Verlassen des Stuhles, allerdings war die Geschwindigkeit der GU Gruppe beinahe doppelt so hoch wie die der AT-Lehrer. Für die langsamste Bewegung (8 Sekunden) blieb die Geschwindigkeit des Schwerpunkts vor dem Aufstehen bei AT-Lehrern annähernd gleich, während Teilnehmer der GU Gruppe kurz vor dem Aufstehen ihre Geschwindigkeit des Schwerpunkts erhöhten. Trotz wiederholter Bitte waren sie nicht in der Lage, mit gleichbleibender Geschwindigkeit aufzustehen.

Bei beiden Gruppen war die Maximalgeschwindigkeit des Schwerpunkts umso höher, je weiter vorne die Füße standen. Dies deutet darauf hin, dass eine Geschwindigkeitserhöhung des Schwerpunkts unmittelbar vor dem Aufstehen mit den Balanceanforderungen zusammenhängt. Allerdings war dieser Effekt in der AT-Lehrer Gruppe geringer, was darauf hinweist, dass sie den Balanceanforderungen besser entsprechen können, ohne übertriebenen Schwung nach vorne nutzen zu müssen.

#### *Balance auf beiden Füßen:*

Um beim Aufstehen eine Balance auf beiden Füßen zu erreichen, gibt es zwei Strategien. Entweder liegt zum Zeitpunkt des Erhebens vom Stuhl der Körperschwerpunkt bereits vor dem Zentrum der Füße, oder der Oberkörper muss genügend Geschwindigkeit erreichen, so dass kurz nach dem Aufstehen sein Vorwärtsschwung der Körperschwerpunkt in kurzer Zeit über die Füße bringt.

Hier unterschieden sich die beiden Gruppen. Die AT-Lehrer waren unter allen Bedingungen beim Verlassen des Stuhls im positiven Bereich des „seat-off“-Wertes, der Körperschwerpunkt lag also vor den Füßen. Demgegenüber lagen die Werte der GU Gruppe unter allen Bedingungen im negativen Bereich, daher benötigten sie größeren Vorwärtsschwung, um sich beweglich über den Füßen stabilisieren zu können.

Man könnte annehmen, dass AT-Lehrer größere Körperkräfte in den Beinen aufwenden, um eine gleichbleibende Geschwindigkeit beim Aufstehen zu erreichen. Dies wird von den Daten allerdings nicht unterstützt.

#### **Diskussion**

Die Ergebnisse zeigen, dass die gesunden, untrainierten Erwachsenen (GU) größere Schwierigkeiten hatten, langsam und gleichmäßig aufzustehen. Die Teilnehmer der GU-Gruppe waren sich dieser Problematik bewusst, konnten aber die Aufgabenstellung nicht erfüllen. Zudem war der Unterschied zwischen den Gruppen bei der langsamsten Geschwindigkeit am höchsten. Dies spricht gegen die Vermutung, dass die GU die Aufgabenstellung vielleicht nicht richtig verstanden hätten.

Die Unterschiede in der Fähigkeit, gleichmäßig aufzustehen, lagen auch nicht in Unterschieden der Kraft oder unterschiedlicher Verteilung von Kräften zwischen den Gelenken. Die Maximalkräfte der Hüft- und Knieextensoren war bei beiden Gruppen fast identisch.

Die Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass die Einschränkungen der HU-Gruppe in der Bewegungssteuerung des zentralen Nervensystems liegen.

#### *Erfordernisse von Balance und Haltung:*

Die Daten zeigten, dass die HU-Gruppe eine höhere Geschwindigkeit zum "seat-off"-Zeitpunkt erreichten, weil zu diesem Zeitpunkt ihr Körperschwerpunkt hinter und nicht über oder vor den Füßen lag. Um ihre Balance aufrecht zu erhalten, mussten sie sicherstellen, dass sie ihren Oberkörper durch Schwung über die Füße bringen können. Dies beantwortet jedoch nicht die Frage, warum sie den Oberkörper nicht weiter nach vorne über ihre Füße brachten. Einschränkungen struktureller Art lagen nicht vor.

Dieser Zusammenhang kann zum Teil durch die Erfordernisse der Haltung erklärt werden: Der Körper soll unter seinem eigenen Gewicht nicht kollabieren.

Beim Aufstehen müssen die Beine das Körpergewicht aufnehmen, was starke Kräfte in den Extensoren der Beingelenke benötigt, um ein Kollabieren zu verhindern. Gleichzeitig müssen die Beingelenke gebeugt werden, um für die Balance den Körperschwerpunkt über die Füße zu bringen. GUs scheinen diesen Konflikt so zu lösen, indem sie den Einsatzzeitpunkt der Beinextensoren hinauszögern, um nicht die Erzeugung des Vorwärtsschwungs zu stören. Dies erklärt allerdings nicht, warum GUs nicht in der Lage waren, in derselben Weise wie AT-Lehrer ihre Beine zu beugen und gleichzeitig Extensoren-Kräfte zu erzeugen.

### *Die Rolle von Steifigkeit*

Können Unterschiede in der Steifigkeit von Haltung (postural stiffness) eine alleinige Erklärung sowohl dafür liefern, weswegen GUs nicht in der Lage waren, ihren Körperschwerpunkt weit genug über ihre Füße zu bringen, als auch dafür, warum sie die Beinextensoren erst später im Bewegungsablauf aktivierten, was zugleich die Ruckhaftigkeit ihrer Aufstehbewegung erklären würde?

Um diese Frage zu beantworten, erstellten die Autoren ein neuromechanisches Körpermodell, um die „vom-Sitzen-zum-Stehen“-Bewegung zu simulieren und dabei eine aktivitätsabhängige Steifigkeit in Hüft- und Kniegelenken nachzubilden. Mit realistischen Daten dieser Steifigkeit gelang es dem Modell, die Aufstehbewegung durchzuführen. Schon eine relativ kleine Erhöhung der Steifigkeit um 5% entweder im Hüft- oder im Kniegelenk führte dazu, dass die Bewegung nicht mehr erfolgreich durchgeführt werden konnte.

Die Steifigkeit des Rumpfes wurde ebenso simuliert. Die Daten zeigen, dass es einen Einfluss der Steifigkeit des Rumpfes auf die Aufstehbewegung gab: Sowohl eine Erhöhung als auch eine Verringerung der Steifigkeit konnten dazu führen, dass die Bewegung nicht erfolgreich ausgeführt werden konnte. Hier existiert weiterer Forschungsbedarf; wir konnten jedoch zeigen, dass die Steifigkeit des Rumpfes den Bewegungsablauf und die Ausführungsweise insgesamt beeinflusst.

Zuletzt prüften wir, ob bei unserem Modell eine Verzögerung der Gewichtsverlagerung, wie sie bei der GU Gruppe zu beobachten war, den Auswirkungen der Steifigkeit auf die Aufstehbewegung entgegenwirken könnten. Verzögerten wir den Zeitpunkt der Aktivierung der Beingelenkextensoren, konnte das Modell auch mit steiferen Knie-, Hüft und Rumpfgelenken erfolgreich aufstehen.

Daher können höhere Geschwindigkeit und Verzögerung in der Gewichtsverlagerung als kompensatorische Strategie verstanden werden, um eine höhere Steifigkeit in den Gelenken auszugleichen (z.B. 80% höhere Steifigkeit in den Hüftgelenken von GUs im Vergleich zu AT-Lehrern, Cacciatore et al., 2011a).

### *Folgerungen für die Haltungssteuerung des Nervensystems*

Die Autoren gehen davon aus, dass Prozesse im Nervensystem, die die Steifigkeit von Gelenken beeinflussen, kritisch für die Aufstehbewegung sind. Doch welche dieser Prozesse beeinflussen die Steifigkeit?

Man könnte vermuten, dass die unterschiedlichen Steifigkeiten der Gelenke aus den Mustern gleichzeitiger Kontraktionen von Beugern und Streckern resultieren, welche zusammen mit den Muskelkontraktionen für die Aufstehbewegung als Bewegungsplan programmiert sind. Wäre ein solcher Steuerungsprozess die Quelle der Steifigkeit der Gelenke, könnte man allerdings erwarten, dass der Bewegungsplan durch Übung leicht zu verändern wäre. Dies war im vorliegenden Experiment aber nicht der Fall.

Eine alternative Hypothese wäre, dass die Steifigkeit aufgrund eines getrennt ablaufenden Prozesses im Nervensystem auftritt, welcher neben den Prozessen der Muskelaktivität besteht und mit ihnen interagiert. Diese Erklärung stimmt eher mit der Beobachtung überein, dass GUs und AT-Lehrer unterschiedliche Muster von Gelenksteifheit zeigen, wenn sie stehen, ohne eine Bewegung ausführen (Cacciatore et al., 2011 a). Es stimmt auch mit der Beobachtung überein, dass GUs eine höhere Steifigkeit zur Haltung verwenden als notwendig (Di Giulio et al., 2013). Die Prozesse, welche die Gelenksteifheit verursachen, hängen mit dem Haltungstonus<sup>1</sup> (postural tone) zusammen.

Wie beeinflussen sich Haltungstonus und Bewegungen gegenseitig, und wie kann der Haltungstonus für Unterschiede zwischen GUs und AT-Lehrern bei der Koordination der Aufstehbewegung verantwortlich sein?

Während der Aufstehbewegung muss der Haltungstonus den Oberkörper stützen und gegen die Schwerkraft aufrecht halten. Die spezifische Art, wie dies geschieht, führt zu einer bestimmten Steifheitsverteilung im Körper, den „Haltungsrahmen“ (postural frame).

Die Schwierigkeiten, langsam und gleichmäßig aufzustehen, könnten auf eine höhere Steifheit der Gelenke infolge mangelhafter Haltungssteuerung zurückgeführt werden. Alternativ oder auch zusätzlich kann eine schlechte Haltungskontrolle auch eine übermäßig lose Wirbelsäule bewirken, welche zu wenig Steifigkeit besitzt, um die Gravitationskraft auf die Beinextensoren zu übertragen.

Andererseits könnte die gleichmäßige Bewegungskoordination der AT-Lehrer auf ihre Fähigkeit zurückgeführt werden, den „Haltungsrahmen“ dynamisch zu verändern.

Die Ergebnisse dieser Studie – dass eine im Haltungskontext zu beobachtende Steifigkeit für Schwierigkeiten in Bewegungsabläufen verantwortlich sein kann – legen nahe, dass bei gesunden Erwachsenen die spezifische Art und Weise, wie ihre Unterstützung gegen die Schwerkraft reguliert wird, die Gesamtkoordination alltäglicher Bewegungen stören kann.

#### *Folgerungen für die Bewegungskoordination*

Eine schlechte Haltungskoordination kann Bewegungsabläufe nachhaltig stören. In der vorliegenden Arbeit finden sich Beweise für die Bewegung „vom-Sitzen-zum-Stehen“, doch gehen wir davon aus, dass auch andere Bewegungen, welche exzentrische Muskelkontraktionen erfordern, zu ähnlichen Konflikten führen können, wie Treppe steigen, in die Hocke gehen und ähnliche Alltagsbewegungen. Störungen von Bewegungsabläufen durch ungünstige Haltungskoordination und übermäßige Steifigkeit scheinen bei älteren Personen noch ausgeprägter zu sein. Falls dem so ist, sollten Trainingsprogramme für Ältere vielleicht nicht so

---

<sup>1</sup> Tonus = Spannungszustand der Muskulatur

sehr auf größere Kraft oder mehr Schwung zielen, sondern vor allem auf die Haltungssteuerung achten und deren störende Auswirkungen auf Bewegungsabläufe zu vermindern, was zu einer besseren Gesamtkoordination führen würde.

**Literatur:**

Cacciatore TW, et al. (2011a). *Increased dynamic regulation of postural tone through Alexander Technique training*. Hum Mov Sci 30: 74–89.

Di Giulio I, et al. (2013). *Human standing: does the control strategy preprogram a rigid knee?* J Appl Physiol 114: 1717–1729.

**Artikel im Journal of Neurophysiology:** <http://jn.physiology.org/content/112/3/719>