



Neurokybernetik der Körperhaltung

Dr. Oliver Ludwig
Prof. Dr. Eduard Schmitt

Sonderdruck aus
Haltung und Bewegung
02/2006

Neurokybernetik der Körperhaltung

Oliver Ludwig - Eduard Schmitt

Vorbemerkung

Die Diskussion um Haltungsschwächen, gerade bei Kindern und Jugendlichen, ist geprägt von einer orthopädisch-mechanischen Sichtweise. Anlehnend an die Haltungstypen nach *Staffel* (1889) beurteilt die Orthopädie Körperhaltung in der Regel als das Ergebnis einer statischen Momentaufnahme. Dadurch ergibt sich zwangsläufig ein großes Problem: während sich pathologische Fehlstellungen meist eindeutig benennen lassen, ist der Übergang zwischen der „normalen“ Haltung und der Haltungsschwäche nicht klar abgegrenzt. Einerseits sind Normwerte für die Körperhaltung nicht klar definiert (*Wydra* 2004), so dass die Einschätzung einer Haltungsposition zwischen verschiedenen Fachärzten oft erheblich differiert, andererseits ist der Therapiebedarf von Haltungsschwächen umstritten.

Körperhaltung mechanisch betrachtet

Die Ursache für diese Schwierigkeiten liegt in einer rein mechanischen Betrachtungsweise der Körperhaltung, die von einem statischen Gleichgewicht ausgeht. Vereinfacht dargestellt sieht die Mechanik den menschlichen Körper lediglich als einzelne Elemente (Beine, Becken, Rumpf mit Armen und Kopf), die übereinander gestapelt sind wie Bauklötzchen und so „verschoben“ werden müssen, dass der Gesamtkörper steht (Abb. 1a). Ein wenig komplizierter wird die Betrachtung, wenn die Beweglichkeit einzelner Elemente zugelassen wird. Dann verspannen Muskeln und Sehnen den Knochenapparat, so dass das Gesamtgebilde immer noch im (statischen!) Gleichgewicht bleibt. (Abb. 1b).

Dieses Modell ist immer noch weit verbreitet, denn mit ihm lassen sich Haltungsschwächen auf einfache und plausible Weise erklären. Dabei wird das Becken als eine Wippe angesehen, auf dem die Lendenwirbelsäule auflagert und das auf den Oberschenkelknochen ruht. Dieses labile Gleichgewicht wird durch antagonistisch arbeitende Muskelgruppen aufrecht erhalten. Zum einen ziehen die Gesäßmuskeln den hinteren Beckenteil nach unten und bewirken damit eine Aufrichtung (Anhebung des vorderen Beckenkamms). Synergistisch wirkt die gerade Bauchmuskulatur, in dem sie die Vorderseite des Beckens nach oben zieht. Antagonistisch hingegen wirken die Hüftbeugemuskeln, insbesondere der *Musculus iliopsoas* (Kreuzdarmbeinmuskel). Um das Erklärungsmodell zu komplettieren, bedient man sich zusätzlich der Unterteilung der Muskulatur in die Kategorien der zur Verkürzung neigenden und zur Abschwächung neigenden Muskelgruppen. Diese vereinfachte Sichtweise und die Betrachtung eines „verkürzten“ Muskels als Folge einer veränderten Muskelmechanik wird mittlerweile kritisch hinterfragt (*Klee* 1993). Dennoch liefert dieses etablierte Modell eine einfache Erklärung für das Zustandekommen von Haltungsschwächen. Schwächt sich nämlich die Bauch- und Gesäßmuskulatur ab und verkürzt sich gleichzeitig der Hüftbeuger (zum Beispiel durch langes Sitzen), so kippt das Becken und mit ihm die Lendenwirbelsäule nach vorne. Da der Körper den oberen Rumpf aufrichtet, entsteht so das typische Hohlkreuz bzw. der Hohlrundrücken (Abb. 2). Entsprechend wird nach mechanischer Sicht auch oft therapiert: Aufbau der Bauch- und Glutaealmuskulatur, Dehnung der Hüftbeuger.

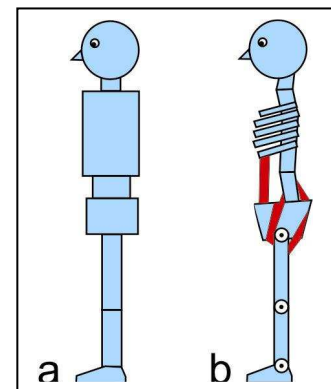


Abb. 1: Vereinfachte mechanische Betrachtung der Körperhaltung

Empirische Erfahrungen der Physiotherapie zeigen schon lange andere Behandlungsmethoden, die dem neurogenen Anteil der Haltungsdefizite Rechnung tragen, gute Erfolge vorweisen können, teilweise aber nicht neurologisch abgesichert sind.

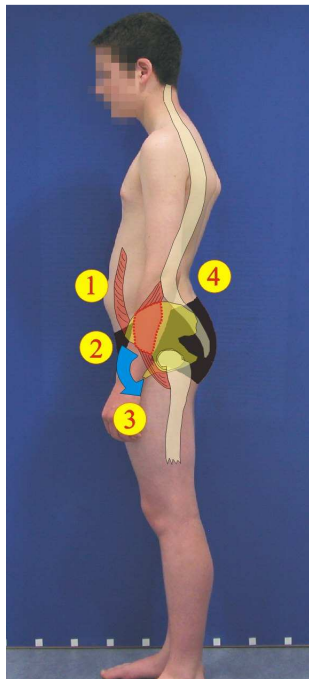


Abb.2: Klassisches Erklärungsmodell für die Entstehung eines Haltungsschwäche: Schwache Bauchmuskulatur (1) und verkürzter Hüftlendenmuskel (2) bewirken ein Vorkippen des Beckens (3), was zu einer Hohlkreuzbildung führt (4).

Körperhaltung unter dem Aspekt des Gleichgewichts

Den menschlichen Körper im Gleichgewicht zu halten, beinhaltet zwei Aspekte:

1. das *externe Gleichgewicht* in Beziehung zur Umwelt: der Körper darf nicht umfallen
2. das *interne Gleichgewicht* der Körpersegmente zueinander: die Positionierung der Körpersegmente muss eine dauerhafte Überlastung verhindern

Um den Unterschied zu verdeutlichen, hilft ein kurzer Blick in die Physik: ein Körper befindet sich dann im *externen Gleichgewicht*, wenn die Lotlinie durch seinen Körperschwerpunkt innerhalb der Unterstützungsfläche liegt (Abb. 3). Die Unterstützungsfläche ist im Normalfall die Fläche zwischen beiden Fußsohlen, ungefähr von der Größe eines DIN A3-Blattes. Der Körperschwerpunkt ist etwa in der Höhe des Bauchnabels lokalisiert, das Lot hierdurch trifft die Unterstützungsfläche fast mittig im Bereich des Mittelfusses, liegt also vor den Knöcheln. Wie auch immer der Körper seine einzelnen Segmente (Rumpf, Arme und Kopf) ausrichtet: so lange der Körperschwerpunkt innerhalb der Unterstützungsfläche bleibt, fällt er nicht um. Lehnen wir den Rumpf nach vorne, so verhindern wir ein Umfallen, indem wir die Arme nach hinten

strecken. Dadurch „ziehen“ wir den Körperschwerpunkt ebenfalls wieder nach hinten.

Dies impliziert eine wichtige Folgerung: von der Position des Körperschwerpunktlotes können wir keine Rückschlüsse ziehen auf die Ausrichtung der Körpersegmente zueinander (*Duysens et al. 2000*). Abbildung 4 zeigt zwei Körperpositionen, bei denen die Lage des Körperschwerpunktes innerhalb der Unterstützungsfläche, also das externe Gleichgewicht, völlig gleich ist. Dies ist messbar mit posturographischen Druckmessplatten (hier Zebris PDM Plattform). Die Ausrichtung des Rumpfes, also der interne Gleichgewichtszustand, ist jedoch in den Fallbeispielen völlig verschieden.

Dies führt uns zum *internen Gleichgewicht*: wenn es beliebig viele interne Möglichkeiten gibt, um das externe Gleichgewicht zu halten (also ein Umfallen zu verhindern), dann stellt sich die Frage, welche davon unser Zentralnervensystem präferiert. Damit sind wir im Bereich der Haltungsschwäche angelangt. Zweifelsohne handelt es sich dabei nicht um eine Störung des externen Gleichgewichts, vielmehr ist die Ausrichtung der Körpersegmente so verschoben, das eine Störung des internen Gleichgewichtes zu vermuten wäre. Im biologischen

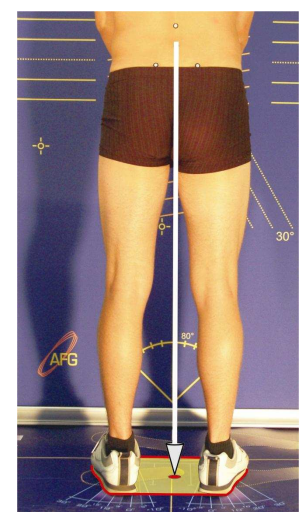


Abb. 3: Ein Körper ist dann stabil, wenn das Lot durch seinen Körperschwerpunkt auf die Unterstützungsfläche (schattiert) fällt.

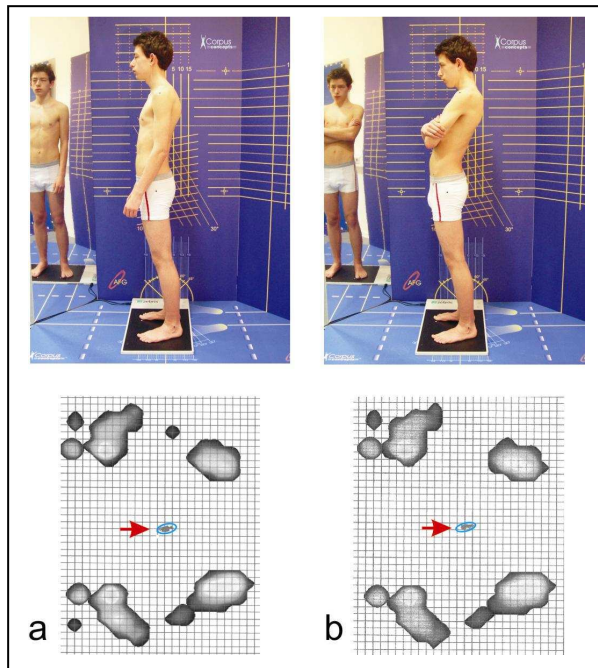


Abb. 4: Zwei verschiedene Rumpfpositionen mit verschiedenen internen Gleichgewichtszuständen, aber gleich bleibendem externen Gleichgewicht. Die unteren Grafiken zeigen die Druckverteilung unter den Füßen und die Wanderung des Körperschwerpunktes während 30 Sekunden (Pfeil).

schon Sinne bedeutet dies: jede biologische Struktur, sei dies ein Gelenk, eine Sehne oder ein Muskel, ist mechanisch oder funktionell für ein Belastungsoptimum ausgelegt. Im Laufe der körperlichen Entwicklung passt sich die Struktur der Knochen über ein System aus Knochenbälkchen beispielsweise an die Hauptbelastungsrichtung an. Gehen wir davon aus, dass der Körper bestrebt ist, dieses Belastungsoptimum beizubehalten, so hätten wir ein Kriterium, nach dem das Zentralnervensystem (ZNS) ein internes Gleichgewicht aufrecht zu erhalten versucht. Störungen der optimalen Belastung einer Struktur (z.B. einer Gelenkfläche) durch eine Störung des internen Gleichgewichtes (z.B. durch eine Hohlkreuzposition der LWS) führen zu einer dauerhaften Überlastung der Struktur (z.B. verstärkte einseitige Abnutzung des Gelenkknorpels) und irgendwann zu Beschwerden.

Besonders bedeutsam ist dies im Kindes- und Jugendalter, da zu befürchten ist, dass die Anpassung der plastischen Strukturen, wie der Bälkchenkonstruktion im Röhrenknochen, durch eine ungünstige Positionierung der Körpersegmente nicht optimal sein wird.

Welche „Optimierungsstrategien“ das ZNS nutzt, um Körperhaltung und Bewegung zu regeln, ist bislang nicht endgültig wissenschaftlich geklärt (Allum et al. 1998).

Körperhaltung in der rein mechanischen Sichtweise wird meistens als starres Endergebnis einer Ausrichtung von internem und externem Gleichgewicht angenommen. Entsprechend wird die Haltungsdagnostik auch meistens anhand einer Momentaufnahme des menschlichen Körpers durchgeführt. Allerdings ist die menschliche Haltung nur bei tiefer Bewusstlosigkeit unverändert - ansonsten ist die Körperhaltung das momentane Ergebnis einer ständigen Bewegung. Ein kurzer Rückblick auf die Mechanik macht auch klar, warum: unser Körper mit seinem hoch liegenden Schwerpunkt befindet sich ständig im labilen (Un-) Gleichgewicht. Hinzu kommt, dass unsere Körpersegmente sehr beweglich aufgebaut sind und daher das ZNS ständig zwei Aufgaben im Stehen zu erfüllen hat:

1. zu verhindern, dass unser Körper in sich zusammensackt (also das *interne Gleichgewicht* aufrecht zu erhalten)
2. zu verhindern, dass unser Körper umkippt (also das *externe Gleichgewicht* zu garantieren)

Um diese Aufgaben zu erfüllen, sind die verarbeitenden Instanzen im ZNS auf sensorische Rückmeldungen angewiesen.

Sensorik der Haltungsregelung

Tiefensensibilität

Schließen wir die Augen, so haben wir dennoch einen klaren Zustand von der Position unseres Körpers. Wir wissen, ob die Arme angewinkelt sind oder frei baumeln, wir fühlen, ob der Oberkörper vor- oder rückgeneigt ist. Diese Informationen erhält unser Gehirn aus Sinneszellen im Bereich der Gelenke, Muskeln und Sehnen. Diese sensorische Information fasst man unter dem Begriff der Propriozeption oder Tiefensensibilität zusammen.

In den Muskeln melden die Muskelspindeln den Verkürzungszustand der Muskulatur an das ZNS zurück. In den Sehnenansätzen messen die Golgi-Sehnenorgane die Spannung in der Sehne und verhindern über Reflexe beispielsweise eine Überlastung der Sehne. Beide Rezeptortypen zusammen liefern damit Information über die Kraft, die ein Muskel entfaltet.

In den Gelenkkapseln befinden sich korpuskuläre Sinneszellen und freie Nervenendigungen. Wird durch eine Bewegung im Gelenk die Gelenkkapsel gedehnt oder gestaucht, so erhält das Gehirn nicht nur Information über die Stellung des Gelenkes, sondern auch über die Geschwindigkeit der Bewegung. Allein das Kniegelenk enthält etwa 1200 korpuskuläre Rezeptoren und freie Nervenendigungen (*Schmidt 1985*).

Die propriozeptiven Informationen dienen also vor allem dazu, dem ZNS die notwendigen Informationen zu liefern, die benötigt werden, um das *interne* Gleichgewicht zu garantieren (*Allum et al. 1998*)

Mechanorezeption

Vor allem druckempfindliche Sinneszellen in der Fußsohle liefern wesentliche Information über die Verteilung des Druckes und damit indirekt auch über die Verlagerung des Körperschwerpunktes nach vorne oder hinten. Dies sind vor allem Pacini-, Ruffini- und Meissner-Körperchen, die Druck und Druckänderungen wahrnehmen. Auf diese Weise erhält das ZNS Informationen, die zur Aufrechterhaltung des *externen* Gleichgewichts wichtig sind, da erfasst werden kann, wann der Körperschwerpunkt droht, die Unterstützungsfläche zu verlassen.

Gleichgewichtsorgan

Das im Innenohr lokalisierte Vestibularorgan besteht aus einer dreidimensionalen Bogengangstruktur, die mit einer Flüssigkeit gefüllt ist. In jedem Bogengang ist ein so genanntes Maculaorgan eingebettet, das den Verlauf der Schwerkraft und damit die Ausrichtung des Kopfes im Raum messen kann. Ebenso können Drehbewegungen des Kopfes wahrgenommen werden, weil die in den Bogengängen enthaltene Flüssigkeit träge ist und der Kopfdrehung nur langsam zeitverzögert folgt. Die Maculaorgane erlauben es dem ZNS, die Position des Kopfes in Bezug zum Boden exakt zu messen.

Betrachten wir die Information des Gleichgewichtsorganes, so fällt ein Manko auf: wenn wir den Kopf zur Seite neigen, so werden die Sinnesrezeptoren diese Stellung dem ZNS mitteilen. Beugen wir stattdessen den Oberkörper komplett zur Seite, so geben die Gleichgewichtsrezeptoren die genau gleiche Information, weil die Kopfposition dieselbe ist (Abb. 5). Damit das ZNS beide Zustände voneinander unterscheiden kann, wird die propriozeptive Information aus der Halsmuskulatur und den Halswirbelgelenken hinzugezogen. Erst dadurch wird es möglich, beide Positionsvarianten eindeutig voneinander zu unterscheiden. Die korrekte Funktion unseres Gleichgewichtsorganes ist also an die korrekte Funktion der Rezeptoren in Halsmuskeln und

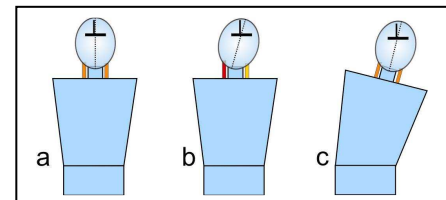


Abb. 5: Gleichgewichtsrezeptoren im Vestibularorgan messen die Stellung des Kopfes im Raum. Bei (b) und (c) wird dieselbe Stellung wahrgenommen. Eine Unterscheidung ist nur durch den Spannungszustand der Muskeln und Sehnen des Halses möglich.

–gelenken gebunden. Dem entsprechend wirken pathologische Tonusänderungen in diesen Muskelbereichen und Blockaden in den Halswirbelgelenken auch auf die Verarbeitung der Haltungsinformation ein und können die Körperhaltung beeinflussen.

Integration der Systeme

Die sensorische Information der Propriozeptoren, Mechanorezeptoren und des Vestibularorgans laufen über afferente (zuführende) Nervenfasern zum Hirnstamm. Oberhalb des Hirnstammes liegen die motorischen Zentren der Basalganglien und des Motorcortex (Abb. 6), die über Nervenstränge miteinander verbunden sind (Atwood & MacKay 1994). Mit dem Hirnstamm sind ebenfalls afferente und efferente Nervenfasern des Kleinhirns verbunden. Durch Ausschaltversuche weiß man heute, dass die unbewusste Körperhaltung vor allem durch Halte- und Stellreflexe in den motorischen Zentren des Hirnstammes geregelt wird (Dimitrijevic et al. 2000, Allum et al. 1998). Die übergeordneten („supraspinalen“) Hirnzentren modulieren diese Regelsysteme jedoch. Beispielsweise senden die motorischen Zentren im Cortex immer dann, wenn eine bewusste Bewegung geplant wird, einen „Durchschlag“ dieser efferenten Anweisung (die die Muskulatur steuern soll) an die Zentren, die die Körperhaltung regeln. Diese „Efferenzkopie“ erlaubt es den Halte-Zentren vorherzuplanen, welche Änderung der Statik in Kürze auftreten wird und folglich die Aktivität der Haltemuskulatur entsprechend zeitgleich zu verändern (Schmidt 1985).

Das Stammhirn hat eine weitere wichtige Funktion, nämlich die Filterung der eintreffenden Signale aus der Peripherie. Einem Signal-Input von einer Milliarde Bits pro Sekunde durch die Rezeptoren der Tiefensensibilität, des Auges, der Haut und des Ohres steht ein Signal-Output von nur 10 Millionen Bits pro Sekunde (Motorik und Sprache) gegenüber. Bewusstes Wahrnehmen verarbeitet sogar nur 150 Bit pro Sekunde (Loosch 1999). Dies bedeutet, dass ein großer Teil der sensorischen Information vorverarbeitet und gefiltert wird.

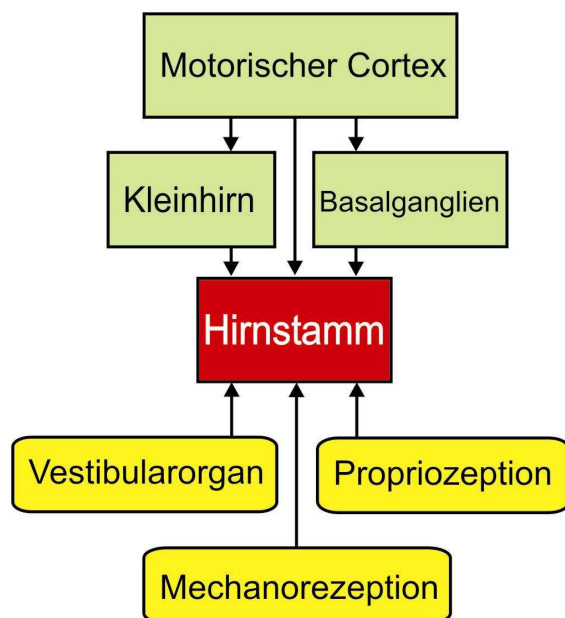


Abb. 6: Sensorische Verschaltung des Stammhirnes

Optischer Sinn

Bei der Betrachtung der für das Aufrechterhalten und Regulieren der Körperhaltung notwendigen Sinnesreize wird der optische Sinn in seiner Bedeutung oft unterschätzt. Tatsächlich hat er aber in unserer Alltagswelt einen hohen Stellenwert. Psychologie und Physiologie unterscheiden dabei zwei visuelle Systeme: das focale Sehen, das mit bewusster Wahrnehmung (zum Beispiel von Formen, Gesichtern etc.) gekoppelt ist und das ambiente Sehen, das unterbewusst verarbeitet wird und der motorischen Kontrolle dient (Loosch 1999). Gerade bei Gleichgewichtsbewegungen stellt das ambiente visuelle System einen „schnellen Kanal“ zur Verfügung, der am Bewusstsein vorbeigeleitet

wird. Dieses System spricht vor allem auf Änderungen im optischen Fluss an (sozusagen auf Verschiebungen des Bildes auf der Netzhaut) und kann binnen 100 Millisekunden eine Reaktion in der Haltemotorik bewirken (Prentice & Drew 2001).

Körperhaltung neurologisch betrachtet

Die Betrachtung der neurologischen Verschaltung macht klar, dass Körperhaltung stets das aktive Produkt einer genau geregelten Muskelaktivität ist (Dietz 1996). Wir sprechen in diesem Zusammenhang von neurokybernetischen Prozessen. Abweichungen der Körperhaltung treten stets auf, weil wir uns in einem labilen Gleichgewichtszustand befinden. Eine minimale Änderung des Tonus eines haltungsbeeinflussenden Muskels wird automatisch die Lage des Körperschwerpunktes ändern und damit auch die sensorischen Informationen der Propriozeptoren (Duysens et al. 2000, Patla et al. 1999). Die motorischen Zentren im Hirnstamm reagieren darauf direkt mit einem Korrekturprogramm, das aus Tonuserhöhung bzw. Tonusverminderung einzelner Haltemuskeln besteht. So pendeln wir stets labil um einen Gleichgewichtszustand. Abb. 7 zeigt, dass unser Körperschwerpunkt auch bei bewusst ruhigem Stand stets schwankt.

Haltung ist also mitnichten ein statischer Zustand. Auch Haltungsschwächen lassen sich dem entsprechend nicht allein durch statische Untersuchungsmethoden bewerten.

Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Körperhaltung und koordinativen Fähigkeiten, speziell von Gleichgewichtsfähigkeiten, zeigen eine deutliche Koppelung (Orosz 2003, Specht 2003, Ludwig et al. 2003). Dies verwundert nicht, denn sowohl das Aufrechterhalten einer „stabilen“ Körperhaltung als auch die Durchführung komplexer Bewegungsmuster erfordern die genaue Abstimmung einzelner Muskelgruppen aufeinander, also die Optimierung von motorischen Programmen; es greifen dieselben neuronalen Prinzipien.

Da die Zahl der Sinnesrezeptoren durch Üben und Trainieren nicht zunimmt, muss der eigentliche Lern- und Optimierungsvorgang im zentralen Nervensystem stattfinden (Winter 1995). Es ist bekannt, dass die interne Verschaltung im ZNS bei Lernvorgängen modifiziert wird. Dies ist ein wichtiger Aspekt: die Summe der Eingangssignale aus den Sinneszellen ändert sich nicht, wohl aber ihre Verarbeitung im Hirnstamm. Der Anteil der zur Koordination von Bewegungen eingesetzten vielfältigen sensorischen Informationen kann jedoch durchaus variieren. Aus diesem Grund sind Gleichgewichtsfähigkeiten trainierbar: die Verarbeitung der Signale aus dem Innenohr wird dabei optimiert und die motorischen Programme zur Haltungskorrektur, die sich daraus ableiten, werden verbessert.

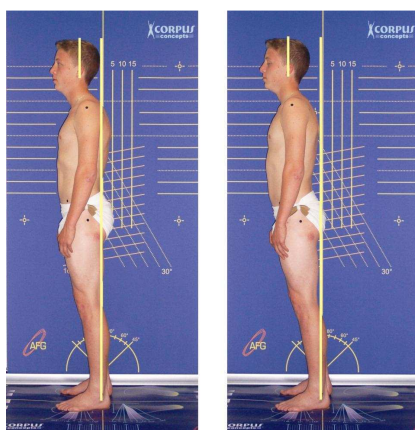


Abb. 8: Änderung der aktiven Körperhaltung bei Schließen der Augen. Beachte die Lotabstände und Referenzlinien.

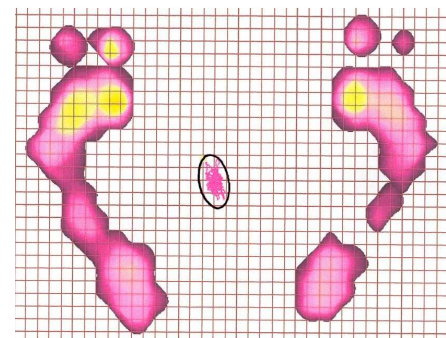


Abb. 7: Posturographische Registrierung der Druckverteilung unter den Fußsohlen (helle Farbe = hoher Druck) und Wanderung des Körperschwerpunkt-Lotes bei ruhigem Stehen.

Die Psychologie geht von einer Dominanz unseres visuellen Systems bei der Bewältigung von Alltagsaufgaben aus. Unser typischer Tagesablauf ist durch Inaktivität geprägt, mit der Folge, dass der Anteil der propriozeptiven Signale, des Innenohrs und der Hautmechanorezeptoren an der Aufrechterhaltung der Körperhaltung abnimmt. Parallel dazu verstärken unsere täglichen Herausforderungen (Arbeiten am Computer, Autofahren, Fernsehen, Spielekonsolen) den Anteil der visuellen Information am Gesamtpotenzial der sensorischen

Information: die „Waage der sensorischen Information“ verlagert sich immer mehr zugunsten einer visuellen Dominanz und zuungunsten der propriozeptiven Anteile.

Im Bereich der Haltungsdiagnostik lässt sich dies gut belegen, indem die aktive Körperhaltung mit geöffneten und geschlossenen Augen verglichen wird. Abb. 8 zeigt eine Vergleichsanalyse mit dem Haltungsmesssystem CORPUS. Die zunächst stabile aktive Haltung des Jugendlichen führt sofort zu einer Vorverlagerung des kompletten Rumpfes, sobald die Augen geschlossen werden. In diesem Falle ist folgendes passiert: mit dem Wegfall der sensorischen Information aus dem visuellen ambienten System können zur Haltungsregelung nur noch die Eingangssignale der Propriozeption, der Hautmechanorezeptoren und des Vestibularorganes eingesetzt werden. Sind Defizite in der Vorverarbeitung dieser Information im Mittelhirn vorhanden, so droht die Körperhaltung instabil zu werden. Durch die Vorverlagerung des Rumpfes verschiebt sich der Körperschwerpunkt nach vorne und der Druck auf dem Vorfuß nimmt zu. Auf den verstärkten Druckreiz antworten die Mechanorezeptoren unter der Fußsohle mit einem starken Signal, das im Mittelhirn verarbeitet wird. Über diesen „Trick“ sorgt damit das ZNS für einen starken Input, um die Haltung zu stabilisieren und das externe Gleichgewicht zu garantieren (Abb. 9 zeigt dieses Denkmodell schematisch).

Konsequenzen für die Haltungsbeurteilung

Haltungsschwächen sind – als Folgerung aus diesen Betrachtungen – daher nie als ein statisches Problem zu sehen. Sie treten auf, wenn das ZNS nicht in der Lage ist, aus der Vielzahl der eingehenden sensorischen Signale über eine korrekte Signalverarbeitung die adäquaten motorischen Programme zur Ansteuerung der Haltemuskulatur zu erstellen. Dabei sind Erklärungsmodelle wie schwache oder verkürzte Muskeln eigentlich untergeordnete Fragestellungen. Natürlich muss ein Muskel über eine ausreichende Zahl kontraktile Proteinfilamente und ausreichende Energievorräte verfügen, um die notwendige Kraft erzeugen zu können, die zur Stabilisierung eines Körpersegmentes gebraucht wird. Dem entsprechend ist muskuläres Aufbau- und Ausdauertraining zur Haltungsschulung sinnvoll. Dennoch wird die Muskelkraft letztlich durch diffe-

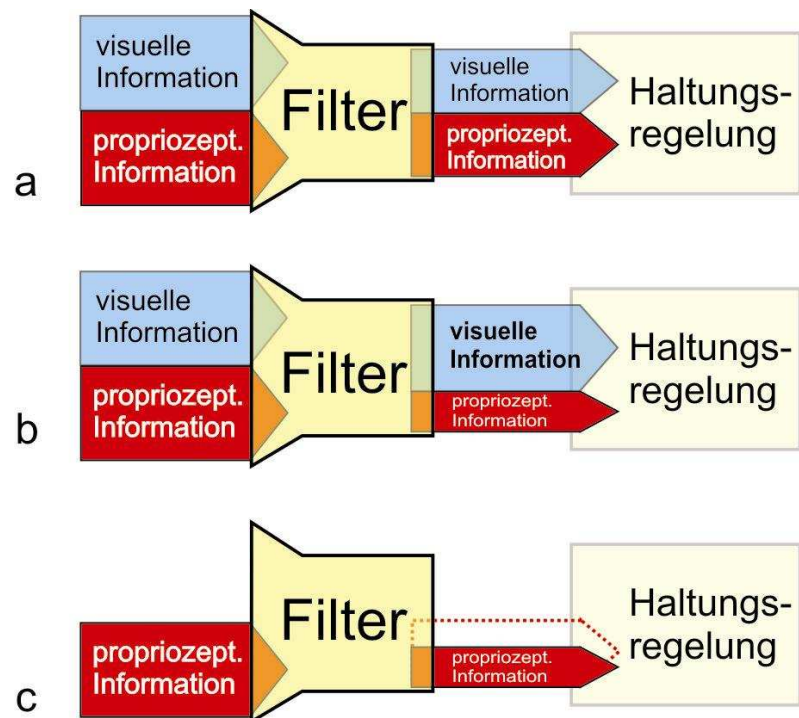


Abb. 9: Erklärungsmodell für den Haltungsverfall bei ausgeschaltetem optischen Sinn. Propriozeptive und visuelle Information werden in Zentren des Großhirns und Stammhirns vorgefiltert und zu den haltungsregulierenden neuronalen Zentren geleitet (a). Bei Dominanz des optischen Sinnes werden dessen Informationen verstärkt zur Haltungsregelung eingesetzt (b). Beachte, dass der sensorische Input gleich bleibt! Fallen in diesem Anpassungsstadium die optischen Informationen weg, zum Bsp. durch Schließen der Augen, so genügt der unterrepräsentierte propriozeptive Input nicht zur optimalen Haltungsregelung (propriozeptive, mechanorezeptive und vestibuläre Information wurden der Einfachheit halber zusammengefasst).

renzierte Innervierung und Ansteuerung durch das ZNS erzeugt. Der potenziell stärkste Muskel nützt zur Haltungsregelung nichts, wenn er nicht zielgerichtet angesteuert wird. Analog muss auch das Modell des „verkürzten“ Muskels gesehen werden. Neben der anatomischen Komponente (z.B. Titin-Moleküle, welche einen mechanischen Beitrag zur Verkürzung leisten), muss auch die neurophysiologische Komponente betrachtet werden (Tonuserhöhung führt zur scheinbaren Verkürzung).

Haltungsanalyse kann und muss demnach nach unserer Sicht zwei Komponenten enthalten:

1. Betrachtung der anatomisch-mechanischen Komponente und der Muskelkraft (statischer Anteil)

Als Beispiel hierfür sei neben der Analyse der Rückenform der Matthiass Test genannt (*Matthiass, 1966*). Die Verlagerung des Körperschwerpunktes zur Aufrechterhaltung des externen Gleichgewichtes führt zu einer starken Änderung des internen Gleichgewichtes, also zur Verschiebung von Körpersegmenten gegeneinander (Rückverlagerung des Rumpfes, Abb. 10).

Der Matthiass-Test kann, da er über einen Zeitraum von 30 Sekunden ausgeführt wird, eine Aussage darüber erlauben, ob die Kraft der Rumpfmuskulatur ausreicht, den Körper aktiv in der Ausgangsposition zu halten. Ein Rückschluss auf isolierte Muskeln ist hingegen nicht möglich. Zur muskulären Ermüdung kommt noch die neuronale Ermüdung hinzu, so dass der Aussagegehalt dieses Testes durchaus auch kritisch gesehen wird (*Winchenbach 2003, Klee 1996*)

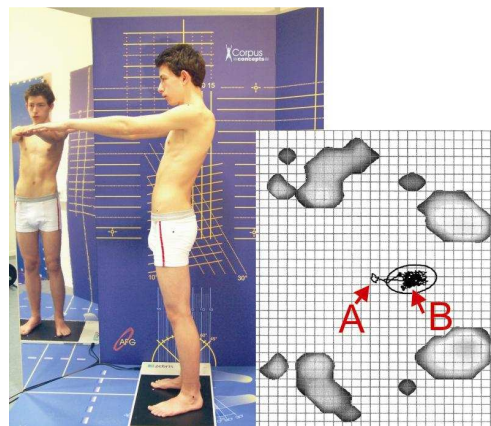


Abb. 10: Änderung des internen Gleichgewichtszustandes beim Matthiass-Test. Sobald die Arme ausgestreckt werden (Situation A im Diagramm), verlagert sich der Oberkörper und damit der Körperschwerpunkt nach hinten. Der Schwerpunkt pendelt ab dann um einen neuen Gleichgewichtszustand (Ellipse B im Diagramm).

2. Betrachtung der neurologisch-regulativen Komponente (dynamischer Anteil)

Hierfür schlagen wir einen Vergleich der aktiven Haltung mit geöffneten und geschlossenen Augen vor. Durch das Einnehmen einer aktiven Haltung wird die Körperposition zunächst bewusst geregelt. Zur Haltungskorrektur werden, wie oben dargestellt, zusätzlich zur Tiefensensibilität die Signale des ambienten visuellen Systems eingesetzt. Schließt der Proband nun die Augen, so ist – bei Defiziten in der propriozeptiven Signalverarbeitung – ein Haltungsverfall zu beobachten (Abb. 11). Dieser lässt sich mit digitaler Haltungsanalyse (z.B. CORPUS-System) objektivieren. In diesem Fall kann eine Störung der Haltungsregelung, bzw. eine Dominanz des visuellen Systems diagnostiziert werden. Die zur neurokybernetischen Regelung der Körperposition verwendeten sensorischen Informationen stammen dann vorwiegend aus dem visuellen System, während tiefensensible afferente Signale nur einen untergeordneten Beitrag leisten. Fällt die optische Information nun weg, so sind die reduzierten und vorgefilterten propriozeptiven Informationen für ein Aufrechterhalten der Körperposition nicht ausreichend. Der therapeutische Ansatz zielt in diesem Fall klar auf eine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeiten und ein Training der Körperereigniswahrnehmung. Ein reines Training der Muskelkraft und eine Verbesserung der

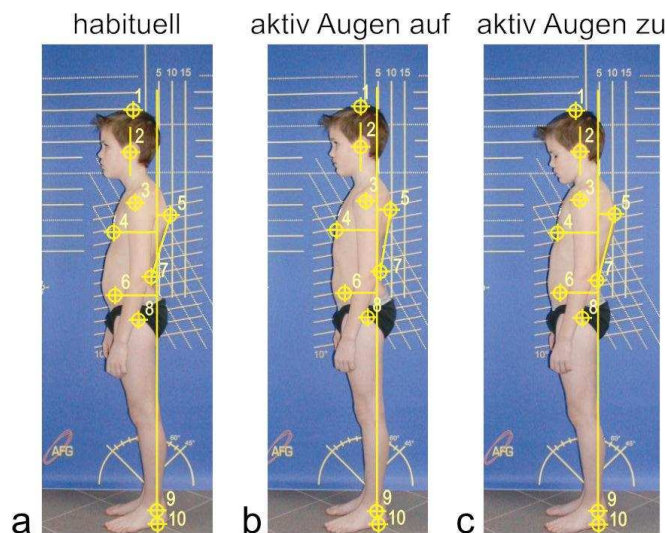


Abb. 11: Haltungsbeurteilung durch Vergleich verschiedener Gleichgewichtszustände mit dem CORPUS-Haltungsmeßsystem. Beim Übergang von der habituellen (a) zur aktiven Haltung (b) wird der Oberkörper aufgerichtet (Rumpfwinkel 5-7 nimmt ab), die Referenzpunkte Hüfte, Schulter und Ohr rücken näher ans Basislot. Werden die Augen geschlossen (c), so verfällt die Haltung wieder: die Lotabstände und die Rumpfneigung nehmen zu, obwohl sich der Junge bemüht, die aktive Haltung beizubehalten.

Dehnbarkeit würde in diesem Fall ins Leere zielen, da die Ansteuerung der Haltemuskulatur defizitär ist.

Kann ein Proband eine aktive Körperhaltung nicht bewusst einnehmen, so ist dies zunächst kein Hinweis auf eine zu schwache Muskulatur, sondern auf ein Defizit in der Körperwahrnehmung. Er kann Teile der Haltemuskulatur nicht bewusst ansteuern, weil seine motorischen Programme unzureichend sind. Auffällig ist, dass auch in solchen Fällen eine Haltungsaufrichtung oft möglich wird, wenn ein zusätzlicher optischer Reiz in Form einer visuellen Rückkopplung geboten wird (der Proband sieht sich im Halbspiegel oder im Monitor). Dadurch wird das focale visuelle System stimuliert und damit wiederum der Eingangsreiz verstärkt. Um Haltungsschwächen daher ganzheitlich zu betrachten, schlagen wir

eine zweistufige Diagnostik vor, die orthopädische und neurologische Prinzipien integriert (Abb. 12).

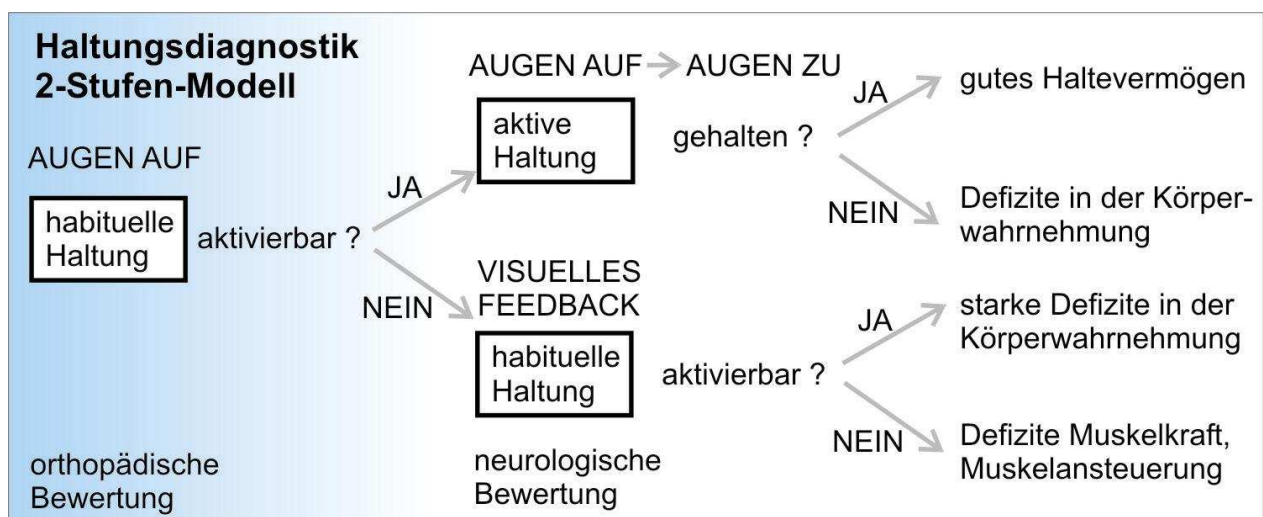


Abb. 12: 2-Stufen-Modell der Haltungsdiagnostik. Das vorgeschlagene Verfahren integriert orthopädische und neurologische Aspekte und erlaubt eine Differenzierung der Haltungsdefizite.

Zusammenfassung

Körperhaltung ist das Ergebnis eines Regelungsvorgangs durch das ZNS. Sie ist niemals statisch, sondern besteht immer in einem dynamischen Gleichgewicht. Der Körper ist bemüht, das externe Gleichgewicht zu halten und verändert dazu interne Gleichgewichtszustände. Labile interne Gleichgewichtszustände sind durch das Verlagern von Körpersegmenten gegeneinander definiert, die sich in orthopädischen Defiziten manifestieren können (Hohlrücken, Rundrücken, Beckenkipfung, etc.) und für die die Medizin Überlastungsphänomene postuliert (muskuläre Überlastung, Gelenkverschleiß). Ob und in welcher Form der Körper Haltepositionen aufrecht erhalten kann, hängt nicht nur vom muskulären Potenzial (Kraftvermögen, Energiereserven) ab, sondern primär von der neuronalen Ansteuerung haltungsrelevanter Muskelgruppen in Form motorischer Programme. Diese sind weitgehend im Mittelhirn realisiert und abhängig von sensorischer Information aus Haut, Muskeln, Sehnen, Gelenken und dem Gleichgewichtsorgan. Hinzu kommen Informationen aus dem visuellen ambienten System.

Bei Defiziten in der neuronalen Informationsverarbeitung können Körperpositionen nicht eingenommen bzw. nicht gehalten werden. Um den Anteil visueller Information an der Haltingsregelung zu beurteilen, wird ein zweistufiger Vergleichstest mit geöffneten und geschlossenen Augen empfohlen.

Autoren:

Dr. rer. nat. Oliver Ludwig: Diplom-Biologe mit Arbeitsschwerpunkt Haltungs- und Bewegungsanalysen. Wissenschaftlicher Leiter der Aktion „Kid-Check“ – Haltungsuntersuchungen an Kindern und Jugendlichen.

Prof. Dr. med. Eduard Schmitt: Leitender Oberarzt der Orthopädischen Universitäts- und Poliklinik Homburg. Medizinischer Leiter der Aktion „Kid-Check“ – Haltungsuntersuchungen an Kindern und Jugendlichen.

Korrespondenzadresse:

Dr. rer. nat. Oliver Ludwig
Niederbexbacherstr. 36
66539 Neunkirchen
o.ludwig@rz.uni-sb.de

Literatur:

- (1) Allum, J.H.C., Bloem, B.R., Carpenter, M.G., Hulliger, M., Hadders-Algra, M. (1998): Proprioceptive control of posture: a review of new concepts. *Gait and Posture* 8, S. 214-242
- (2) Atwood, H.L., MacKay, W.A. (1994): Neurophysiologie. Schattauer. Stuttgart
- (3) Breithecker, D. (1992): Der Rücken im Kontext der Gesamtkörperstatik. *Haltung und Bewegung* 12 (2), S. 23-29
- (4) Dietz, V. (1996): Interaction between central programs and afferent input in the control of posture and locomotion. *Journal of Biomechanics* 29 (7), S. 841-844
- (5) Dimitrijevic, M.R., Gerasimenko, Y., Pinter, M.M. (2000): Evidence for a spinal pattern generator in humans. *Annals of the New York Academy of Sciences* 860, S. 360-376
- (6) Dordel, S., Koch, B., Graf, Ch. (2005): Zur Haltungsleistungsfähigkeit von Grundschulkindern. *Haltung und Bewegung* 25 (3), S. 7-15
- (7) Duysens, J., Clarac, F., Cruse, H. (2000): Load-regulating mechanisms in gait and posture: comparative aspects. *Physiological Reviews* 80 (1), S. 83-133
- (8) Klee, A. (1993): *Haltung, muskuläre Balance und Training. Die metrische Erfassung der Haltung und des Funktionsstandes der posturalen Muskulatur*. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a. M.
- (9) Klee, A. (1996). Zur Theorie der muskulären Balance. In: L. Zichner, M. Engelhardt & J. Freiwald (Hrsg.): *Die Muskulatur* (S.197 – 209). Ciba-Geigy Verlag, Wehr
- (10) Loosch, E. (1999): Allgemeine Bewegungslehre. Limpert Verlag, Wiebelsheim
- (11) Ludwig, O. (2003): „Kid-Check“ – ein fächerübergreifendes Projekt zur Haltungsuntersuchung bei Kindern und Jugendlichen. *Gesundheitssport und Sporttherapie* 19, S. 171 – 172
- (12) Ludwig, O. , Mazet, D., Schmitt, E. (2003): Haltungsschwächen bei Kindern und Jugendlichen – eine interdisziplinäre Betrachtung. *Gesundheitssport und Sporttherapie* 19, S. 165 – 171
- (13) Matthiass, H.H. (1966): Reifung, Wachstum und Wachstumsstörungen des Haltungs- und Bewegungsapparates im Jugendalter. *Medizinische und pädagogische Jugendkunde*, Freiburg
- (14) Orosz, N. (2003): Welche Bedeutung hat das Gleichgewicht für die Haltung? *Gesundheitssport und Sporttherapie* 19, S. 177 – 178
- (15) Patla, A.E. Adkin, A., Ballard, T. (1999): Online steering: coordination and control of body center of mass, head and body orientation. *Experimental Brain Research* 129, S. 629-634
- (16) Prentice S.D., Drew, T. (2001): Contributions of the reticulospinal system to the postural adjustments occurring during voluntary gait modifications. *Journal of Neurophysiology* 85: S. 679-698
- (17) Schmidt, R.F. (1985) (Hrsg.): Grundriß der Sinnesphysiologie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- (18) Specht, B. (2003): Welche Bedeutung hat die Koordination für die Haltung? *Gesundheitssport und Sporttherapie* 19, S. 175 - 176
- (19) Staffel, F.(1889): *Die menschlichen Haltungstypen und ihre Beziehungen zu den Rückgratverkrümmungen*. Verlag Bergmann, Wiesbaden
- (20) Winchenbach, H. (2003): Welche Bedeutung hat Kraft für die Haltung? *Gesundheitssport und Sporttherapie* 19, S. 173 – 174
- (21) Winter, D.A. (1995): Human balance and posture control during standing and walking. *Gait and Posture* 3, S. 193-214
- (22) Wydra, G. (2004): Zur Problematik von Normwerten in der Bewegungstherapie. *Zeitschrift für Physiotherapie* 12, S. 2280 – 2289