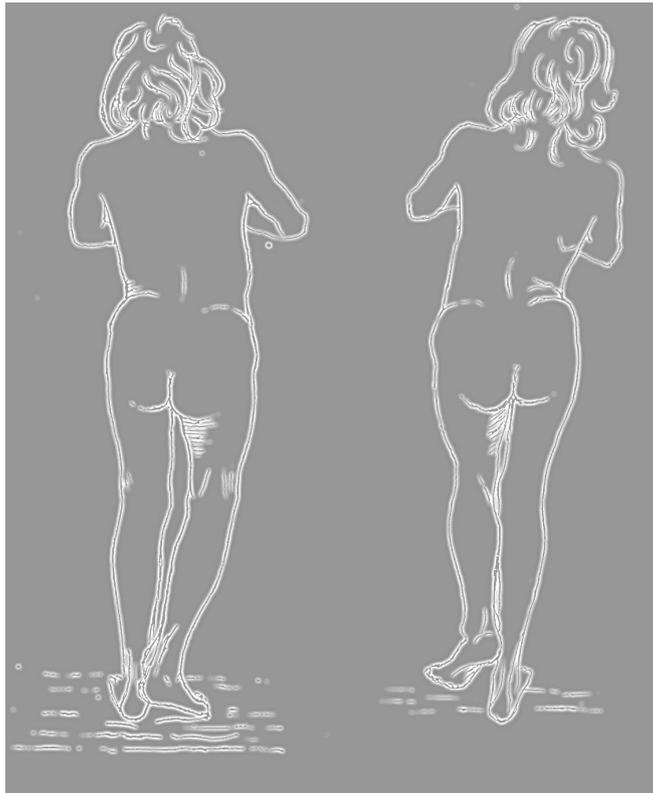


Hinkmechanismus nach Duchenne und Trendelenburg



gewidmet Herrn Dr. med. Thomas Stoll
Wirbelsäulenchirurgie Bethesda Spital Basel

Markus Friedlin



Ergonic[®]
Physiotherapie

(Oktober 2007)

Vorwort	3
Hinkmechanismus nach Duchenne und Trendelenburg	5
Duchenne'sches Hinken.....	7
Kommentar	8
Trendelenburg'sches Hinken.....	9
Kommentar	12
Interpretation dieses Hinkmechanismus nach Pauwels.....	13
Biomechanische Begründung und Analysen	13
Exkurs: Gleichgewichtsbedingungen	15
Physiologische Verhältnisse.....	17
Berechnung der Druckbeanspruchung des Femurkopfes	18
Pathologische Verhältnisse	19
Gründe für das seitliche Hüftinken	20
1 Verkleinerung des Lastarmes.....	20
2 Verkleinerung der Kraft am Kraftarm.....	21
3 Verkleinerung des Kraftarmes.....	21
4 Verminderung der Beanspruchung des Femurkopfes.....	22
Kommentar	22
Neurophysiologische Begründung nach A. Brügger.....	23
Kommentar	25
Anhang.....	26

Vorwort

Der vorliegende Aufsatz wurde zur **Klärung widersprüchlicher Meinungen** bezüglich der beiden Hinkmechanismen nach **Duchenne** einerseits und nach **Trendelenburg** anderseits verfasst.

In einem Gespräch mit Thomas Stoll – Wirbelsäulenchirurg am Bethesdaspital Basel – entstand im Rahmen einer Patientenbesprechung eine Meinungsverschiedenheit bei der Benennung des unten dargestellten Hinkmusters.



Dr. Stoll bezeichnete dieses als Duchenn'sches Hinken, ich hingegen als primär Trendelenburg'sches.

Im Verlaufe des weiteren Gesprächs sprachen wir auch über die beiden Namensgeber und ich war der Meinung, dass Duchenne der Erstbeschreiber war und Trendelenburg seine Arbeiten später verfasste. Ich war mir dessen ziemlich sicher, da ich Duchenne's klassisches Werk „**Physiologie des Mouvements**“ kenne und in meiner Bibliothek stehen habe.

Um die Dinge restlos zu klären, entschloss ich mich, der Sache auf den Grund zu gehen und die beiden **Originalarbeiten** zu lesen und zu **vergleichen**.

Ausserdem verglich ich die Erklärungen von Duchenne und Trendelenburg mit denen von **Pauwels**, dem Pionier der modernen Biomechanik, der sich detailliert mit der Biomechanik des Hüftthinken befasst hatte. Die Gedanken darüber finden sich in seinem Buch „**Über den Schenkelhalsbruch**“.

Zur neurophysiologischen Interpretation des Hinkens stelle ich zudem die Gedanken von **Brügger's nozizeptivem somatomotorischen Blockierungseffekt (nsB)** vor, der das Hinken generell als Ausdruck der Functio laesa erklärt.

Durch diese historische, biomechanische und pathoneurophysiologische Analyse der beiden Hinkmechanismen wird klar, was die beiden Namensgeber beobachtet haben und wie diese mit zusätzlichem Wissen interpretiert werden können.

Wieder einmal zeigt diese Arbeit, dass sich **gründliches Erarbeiten und Prüfen gängiger Meinungen** lohnt.

Nur so kann die Kant'sche Forderung der Aufklärung des Menschen verwirklicht werden. Kant schreibt in seinem Aufsatz „**Was ist Aufklärung?**“

„Aufklärung ist der Ausgang des Menschen aus seiner selbstverschuldeten Unmündigkeit.

Unmündigkeit ist das Unvermögen, sich seines Verstandes ohne Leitung eines anderen zu bedienen.

Selbstverschuldet ist diese Unmündigkeit, wenn die Ursache derselben nicht am Mangel des Verstandes, sondern an der Entschliessung und des Mutes liegt, sich seiner ohne Leitung eines andern zu bedienen.

*Sapere aude! Habe Mut, dich deines **eigenen** Verstandes zu bedienen ist also der Wahlspruch der Aufklärung. „*

Immanuel Kant (1784)¹

¹ Immanuel Kant

„Was ist Aufklärung? – Ausgewählte kleine Schriften“, Philosophische Bibliothek Band 512, Meiner Verlag, 1999

Hinkmechanismus nach Duchenne und Trendelenburg

Guillaume Benjamin Amand **DUCHENNE de BOULOGNE** (17.9.1806 – 15.9.1875)

Friedrich **TRENDELENBURG** (24.5.1844 – 15.12.1924)

Synonyme

- Duchenne-Hinken
- Trendelenburg's Test, Trendelenburg's Symptom, Trendelenburg-Zeichen
- Duchenne-Trendelenburg Phänomen

Zusammenfassung

Die zwei bekannten Hinkmechanismen nach Duchenne und Trendelenburg werden anhand der Originaltexte der beiden Autoren vorgestellt und diskutiert.

Es zeigt sich, dass die üblicherweise angeführten Kriterien, die der Abgrenzung der beiden dienen, so nie von den Autoren beschrieben wurden. Im Gegenteil, beide beschreiben die gleichen Phänomene. Allerdings bei unterschiedlichen Krankheitsbildern.

Zur exakten biomechanischen Analyse und Erklärung sämtlicher Hinkvorgänge, die durch Pathologien an der arthromuskulären Einheit Hüftgelenk ausgelöst werden, wird die Arbeit von Pauwels ausführlich vorgestellt.

Brüggers Vorstellungen der Funktionskrankheiten erlauben eine neurophysiologische Interpretation dieser automatisch stattfindenden Veränderungen des Bewegungsmusters Gehen.

Nach diesen Ausführungen müsste man korrekterweise von einem Duchenne-Trendelenburg Phänomen einerseits sprechen und diesem das Pauwels Phänomen gegenüberstellen.

Üblicherweise werden die beiden Hinkmechanismen wie bei **Mumenthaler/Schliack**² phänomenologisch unterschieden:

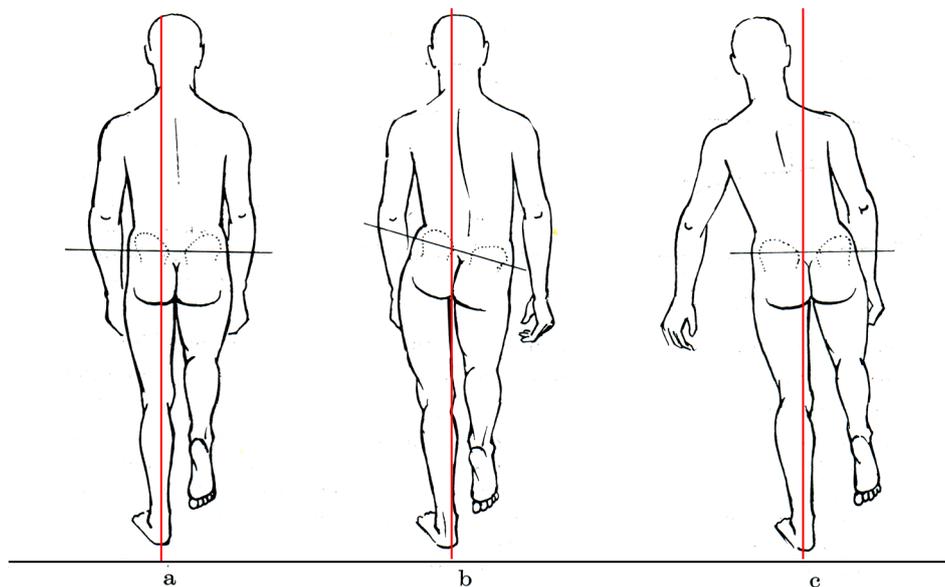


Abb. 1

- Bild a** zeigt eine **normale Situation** bei der die Kraft der Abduktoren (*vorwiegend M. gluteus medius*) des Standbeines das freie Gewicht des Beckens annähernd horizontal hält
- Bild b** bei starker Parese der Abduktoren fällt das Becken zur Spielbeinseite ab
= **positives Trendelenburg Zeichen**
- Bild c** bei leichter Parese findet eine translatorische Bewegung des Oberkörpers auf die Standbeinseite statt.
= **Duchenne Hinken**

Der Unterschied soll darin bestehen, dass beim Duchenn'schen Hinken das Becken im Gegensatz zum Trendelenburg'schen Hinken nicht absinkt.

Dafür aber wird der Oberkörper zur Standbeinseite hin translatiert, was wiederum beim Trendelenburg'schen Hinken nicht auftritt.

In den folgenden Ausführungen werden die ursprünglichen Schilderungen der beiden Erstbeschreiber dargestellt. Wie wir sehen werden, kann man dabei erstaunliche Übereinstimmungen feststellen.

² **Mumenthaler M./Schliack H.** : Läsionen peripherer Nerven – Diagnostik und Therapie. 1. Aufl., Thieme Verlag Stuttgart: 1965, S. 297

Duchenne'sches Hinken

In seinem Buch „**Physiologie des Mouvements démontrée à l'aide de l'expérimentation électrique et de l'observations clinique**“ aus dem Jahre 1867 (deutsche Übersetzung von C. Wernicke unter dem Titel „*Physiologie der Bewegungen nach elektrischen Versuchen und klinischen Beobachtungen mit Anwendungen auf das Studium der Lähmungen und Entstellungen*“ – Fischer Verlag 1885) untersucht *Duchenne* systematisch die Funktion der Muskulatur, indem er dazu mittels der „localen Faradisation“ die Physiologie der Bewegungen studierte:

„Die Möglichkeit, die elektrische Wirkung auf jeden Muskel oder jedes Muskelbündel zu beschränken und auf diese Weise die willkürlichen Bewegungen nachzuahmen, musste eine fruchtbare Idee gebären: Am lebenden Menschen die Einzelwirkung jedes Muskels und folglich die Physiologie der Bewegungen zu studiren. Es war, so zu sagen, die von den Alten an den Thieren ausübte lebende Anatomie, welche dank den Fortschritten meiner Methode der localen Faradisation hier zuerst am lebenden Menschen, ohne blutige Operation, mit unschädlichen Verfahrensweisen verwirklicht wurde.“³

Im zweiten Teil dieses Buches widmet er sich im ersten Kapitel dem Studium der „... **Einzelwirkung und Verrichtungen der Muskeln, die den Oberschenkel gegen das Becken bewegen ...**“ und dort im ersten Artikel „... **den Muskeln, die zugleich die Streckung, Abziehung oder Drehung des Oberschenkels bewirken ...**“.

Zu diesen zählt er den **Gluteus maximus, den Gluteus medius und minimus**.

Wie in jedem Artikel untersucht er zuerst deren normale Elektrophysiologie und beschreibt danach die Pathologische Physiologie. Er schreibt:

„Die Functionsstörung, die mir an den Individuen, deren Gluteus medius und minimus atrophirt war, am meisten aufgefallen ist, **ist eine Neigung des Beckens der entgegen gesetzten Seite**, wenn sie sich auf dem kranken Gliede aufrecht stehend erhalten wollten. Da sie dabei das Becken nicht aufrichten konnten, so **neigten sie den Rumpf stark nach der Seite, die dem Boden aufruhte**, um ihn in die Richtung des Schwerpunktes zurückzuführen.

Dieselben abnormen Bewegungen des Beckens und Rumpfes finden im zweiten Zeitabschnitt des **Ganges** statt, wenn zurzeit, wo eine der unteren Gliedmassen von hinten nach vorne schwingt, **der Körper auf der Unterextremität ruht**, deren Glutaei beiderseits atrophisch waren, **neigte sich der Körper bei jedem Schritte nach der Seite, wo die Extremität dem Boden aufruhte**, während die andere von hinten nach vorne schwang.

Die vorstehenden klinischen Thatsachen beweisen, dass nur der Gluteus medius und minimus wegen ihrer Abductionswirkung dazu bestimmt sind, das Becken auf den Oberschenkeln zu fixiren, wenn der Rumpf auf einer der unteren Gliedmassen aufruht und durch sein Gewicht beim Aufrechtstehen oder im zweiten Zeitabschnitt des Ganges das Becken nach der entgegen gesetzten Seite zu neigen strebt.“⁴

³ **Duchenne** : Physiologie der Bewegungen. 1. Aufl. Cassel und Berlin: Theodor Fischer Verlag, 1885, S. XIX

⁴ derselbe : S. 271

Kommentar

Duchenne beschreibt Fälle, in denen der Gluteus medius als auch der minimus atrophiert waren und dadurch so schwach, dass sie beim Stehen als auch beim Gehen ihre Funktion der Verankerung/Fixierung des Beckengewichtes auf dem Standbein nicht mehr erfüllen konnten.

Dadurch kippt das Becken zur Gegenseite – also auf die Spielbeinseite, und der Rumpf neigt sich zur Seite des Standbeines, „...**um ihn in die Richtung des Schwerpunktes zurückzuführen**“.

Die Rumpfbewegung ist somit als Gleichgewichtsreaktion zu interpretieren, wodurch ein Umkippen als Ganzes zur Gegenseite der Läsion vermieden werden kann.

Wenn wir diese Beschreibung des Stehens/Gehens mit schwachen/paretischen Glutaeen lesen, sehen wir, dass **Duchenne** das Trendelenburg'sche Zeichen beschreibt, eben das Abkippen des Beckens.

Er beschreibt nicht, wie wir bei **Mumenthaler** gelesen haben, die reine Translationsbewegung des Oberkörpers zur Standbeinseite.

Für Duchenne gehören beide Bewegungen zusammen!

Trendelenburg'sches Hinken

In einem Artikel der „**Deutschen medicinischen Wochenschrift**“ untersucht **Trendelenburg 1895** den „**Gang bei angeborener Hüftgelenksluxation**“⁵.

Nachdem er die gängigen Theorien zur Erklärung des „...*eigenthümlichen Ganges* ...“ bei diesem Krankheitsbild vorstellt, schildert er das Gangbild eines Mädchens mit doppelseitiger angeborener Hüftgelenksluxation. Er schreibt:

„Was sieht man? Fassen wir zunächst den **Oberkörper** in das Auge! Derselbe **schwankt bei jedem Schritte hin und her**, und zwar fällt er in der That bei jedem Schritt **nach der Seite herüber, auf der die Patientin auftritt**; tritt der rechte Fuss auf, während der linke gehoben wird, so weicht der Oberkörper nach rechts herüber und umgekehrt. Nennen wir die Körperseite, dessen Fuss auftritt, die **Standseite**, und die Körperseite, dessen Fuss schwebt, die **Gangseite**, so **schwankt der Oberkörper also immer von der Gangseite nach der Standseite hinüber**.“

„Beobachten wir nun aber das **Becken**! Dasselbe schwankt ebenfalls, und zwar so, dass die **rechte und linke Hälfte sich abwechselnd senkt und wieder hebt**. Das Becken schaukelt um eine in der Sagittalebene liegende von vorn nach hinten gerichtete horizontale Achse, welche etwa in der Höhe des ersten Sacralwirbels liegt. Aber das **Schaukeln findet so statt**, dass die Bewegungen **nicht in dem Sinne erfolgen wie die Bewegungen des Oberkörpers, sondern denselben entgegengesetzt sind**.

Tritt der rechte Fuss auf, so sinkt nicht, von vorn gesehen, die rechte Spina superior anterior und von hinten gesehen, nicht die rechte Gesässhälfte herunter, sondern die linke, **das Becken neigt sich nicht wie der Oberkörper nach der Standseite, sondern nach der Gangseite herunter**.

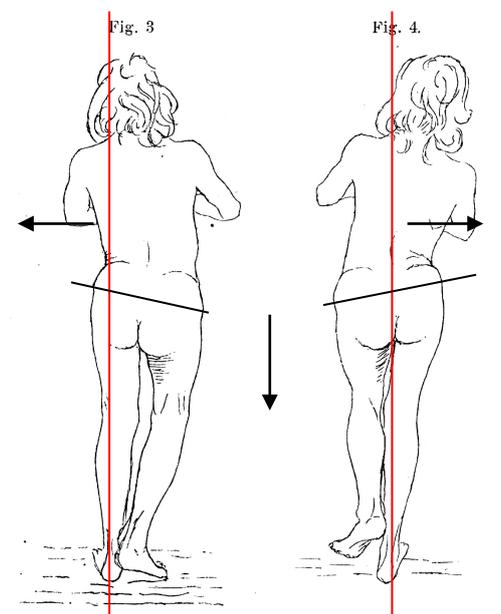


Abb. 2

Gerade das einander Entgegengesetzte der Schaukelbewegungen des Oberkörpers einerseits und des Beckens anderseits – das wird er Beobachter jetzt

⁵ Trendelenburg, Friedrich

: Über den Gang bei angeborener Hüftluxation. in: Deutsche medicinische Wochenschrift (1895), 21, S 21-24

erkennen – **ist das Charakteristische** und Absonderliche des Ganges, er wird sich vielleicht auch daran erinnern, diese Art des Ganges ausser bei doppel-seitigen Luxationen nur noch in einem Falle gesehen zu haben, bei der progressiven Muskelatrophie.“

Nach dieser genauen Beschreibung der beobachtbaren Bewegungen des Oberkörpers und des Beckens widmet sich Trendelburg der **Analyse dieses pathologischen Ganges**.

„Wie kommen nun die beschriebenen eigenthümlichen Schaukelbewegungen zustande? Die Antwort braucht sich nur auf die Schaukelbewegung des Beckens zu beziehen, denn **es ist selbstverständlich, dass die entgegengesetzten Bewegungen der Wirbelsäule nur compensatorische sind**, dass sie die Aufgabe erfüllen, den seitlich ausweichenden Schwerpunkt bis senkrecht über die auftretende Fusssohle zurückzuführen, oder kurz gesagt **das Gleichgewicht herzustellen**“

Zum **Vergleich** beschreibt er zuerst die Verhältnisse beim **normalen Gang**.

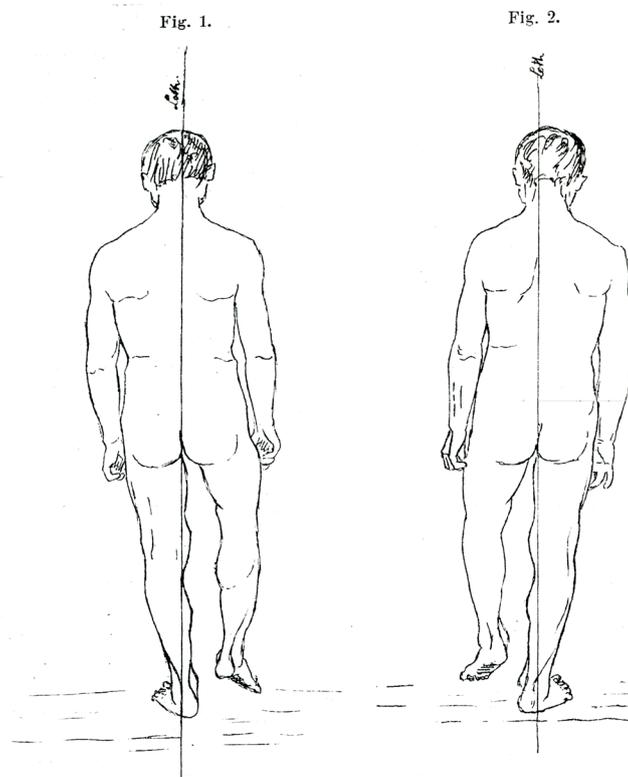


Abb. 3

„Man sieht auf den ersten Blick, dass das Neigen des Körpers erfolgt, um den Schwerpunkt senkrecht über die Unterstützungsfläche, die Fusssohle des Standbeines, zu bringen.

Dass das **Becken dabei horizontal stehen** bleibt und nicht nach der Seite des Gangbeines herunterfällt, ist die **Wirkung der Abductoren des Hüftgelenkes**, des Gluteus medius und minimus, zum Theil auch des Gluteus maximus. Sie sind an dem Standbein straff gespannt, an dem Gangbein erschlafft.“

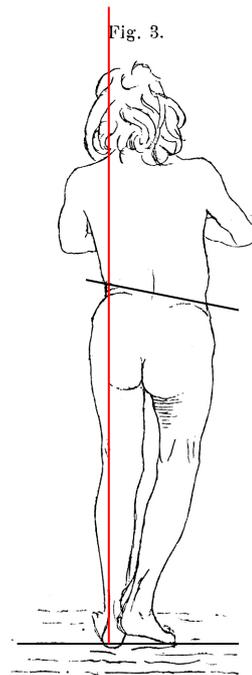


Abb. 4

„Die Ursache für das Herunterhängen des Beckens kann nach dem Gesagten nur darin liegen, dass die **Abductoren des Standbeines das Becken nicht in der Horizontalen festhalten können**, dass sie es fallen lassen, weil sie infolge der anatomischen Veränderungen durch die Luxation nicht imstande sind, es zu halten.“

„Wenn somit die fehlende active Abduction die Ursache des schaukelnden Ganges ist, so ist auch die **grosse Ähnlichkeit des Ganges mit dem Gange bei progressiver Muskelatrophie** verständlich. Bei dieser Erkrankung ist der Gelenkapparat selbst zwar intact, und **Gluteus medius und minimus** haben ihre normale Länge, ab er wie bei der doppelseitigen Luxation ist das Becken, hier infolge der Muskelschwäche, stark vornübergekippt, und die Wirbelsäule entsprechend lordotisch gekrümmt, die Faserrichtung der beiden Muskeln ist dadurch eine schrägere als in der Norm, und was die Hauptsache ist, die Muskeln können infolge ihrer eigenthümlichen pathologischen Degeneration nur sehr unvollständig in Wirkung treten.

Deshalb kann auch hier das Becken von den Abductoren des Hüftgelenkes auf der Standseite nicht in der Schwebe gehalten werden, es fällt nach der Gegenseite herunter, und der Oberkörper schwankt compensierend nach der anderen Seite hinüber.

Leider habe ich in letzter Zeit keine Gelegenheit gehabt, mich von der Richtigkeit der Darstellung nochmals zu überzeugen, aber ich glaube mich in der Erinnerung des früher gesehenen nicht zu täuschen und finde, dass **die Darstellung mit der Auffassung eines gewichtigen Autors, Duchenne, übereinstimmt.**“

Kommentar

Trendelenburg beschreibt sehr genau, wie sich das pathologische Gangbild bei Patienten mit congenitalen Hüftgelenksluxationen äussert.

Wie auch **Duchenne** erkennt er das Absinken des Beckens zur Spielbeinseite (Gangseite) als primäre Störung und erklärt die translatorische Bewegung des Thorax zur Standbeinseite ebenfalls als kompensatorische, um den Körperschwerpunkt über die Standfläche zu bringen.

Die Ursache ist ebenfalls, wie bei Duchenne eine solche der insuffizienten Kraft der Abduktoren der Standbeinseite, wobei diese aus geometrischen Gründen auftritt und nicht wie bei Duchenne aus paralytischen.

Dennoch erkennt auch **Trendelenburg** die Ähnlichkeiten dieses Gangbildes und zieht Parallelen zu Duchennes Beschreibungen.

Kommentar

Wir haben gesehen, dass **Duchenne** und **Trendelenburg** das pathologische Gangbild, welches auf einer Insuffizienz der Glutaeen beruht, identisch beschrieben haben.

Korrekterweise müsste also das klinische Phänomen **immer als Duchenne -Trendelenburg Zeichen** bezeichnen.

Woher die Mumenthaler'sche Unterscheidung der beiden stammt, entzieht sich meiner Kenntnis. Sie ist jedenfalls historisch nicht belegt⁶

Um Missverständnissen zu entgehen, müssten die Zuordnungen wieder einmal mehr absolut eindeutig sein, d.h. jeder müsste ein entsprechendes Gangbild gleich benennen, also als Duchenne-Trendelenburg'sches Zeichen.

⁶ Nachtrag am 6.12.2007:

Erst nach der Niederschrift dieses Aufsatzes erhielt der Autor aus dem Nachlass seines Onkels das Buch von **M.E. Müller** „**Die hüftnahen Femurosteotomien unter Berücksichtigung der Form, Funktion und Beanspruchung des Hüftgelenkes** – 2. Auflage 1971 – Georg Thieme Verlag“, in welchem die Antwort auf diese offene Frage gegeben wird.

Im Kapitel über die klinische Untersuchung des Hüftgelenkes“ ab S. 52 ff. erwähnt er auch das Duchenne-Trendelenburg-Phänomen und schreibt dazu:

„Obwohl Duchenne beide Zeichen – das Absinken des Beckens zur Schwungbeinseite und das Neigen des Oberkörpers zur Standbeinseite – zuerst beschrieb, bezeichnet **Ombredanne** und mit ihm ein grosser Teil der französischen Orthopäden **als Duchenne - Phänomen nur das Überlegen des Oberkörpers nach der Standbeinseite** und als **Trendelenburg-Phänomen das Kippen des Beckens auf die unbelastete Seite.**“

Damit dürfte das Rätsel des Bedeutungswandels geklärt sein.

Interpretation dieses Hink Mechanismus nach Pauwels

Wir haben oben gesehen, dass beide Autoren den Hink Mechanismus erklärt haben:

Das Absinken des Beckens als Folge einer Schwäche der Abduktoren, die so die Beckenverankerung auf dem Standbein nicht mehr gewährleisten können und die **Verlagerung/Translation des Oberkörpers** zur Standbeinseite als **Gleichgewichtsreaktion** des Körpers

Dass das Becken bei fehlender Abduktorenkraft nach unten fällt, ist logisch und bedarf keiner weiteren Erklärung.

Die Gründe für die **Verlagerung des Oberkörpers** wurden als **Gleichgewichtsreaktion** erklärt. Das kann eine Erklärung sein, weil schlussendlich der Gesamtschwerpunkt des Körpers innerhalb der Unterstützungsfläche des Fußes liegen muss.

Die Zusammenhänge dieser Gewichtsverlagerung zur Standbeinseite und der verminderten Abduktorenkraft können aber noch genauer untersucht werden.

Sie lassen sich **biomechanisch** und **neurophysiologisch** begründen.

Biomechanische Begründung und Analysen

Diese finden wir bei **Pauwels** 1935 in seiner Monografie „**Der Schenkelhalsbruch ein mechanisches Problem – Grundlagen des Heilungsvorganges – Prognose und kausale Therapie.**“⁷

Er analysiert das Gangbild des **seitlichen Hüftinkens** nach kinematografischen Aufnahmen im Falle eines Patienten mit einer **Schenkelhalspseudarthrose**, wofür dieses Gangbild nach Pauwels pathognomonisch sei. Massgebend sei hierbei die Druckbeanspruchung des Schenkelkopfes.

Die Bilder zeigen die rechte Standbeinphase mit der Translationsbewegung des Oberkörpers auf dieselbe Seite und eine linke Standbeinphase bei normaler Haltung des Rumpfes.

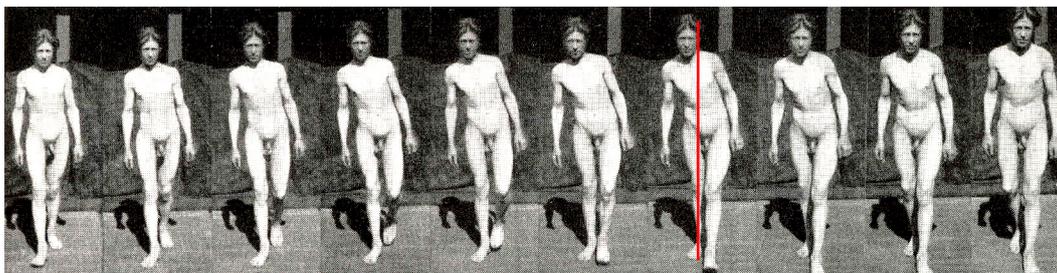


Abb. 5

Pauwels schreibt dazu:

„Zur genauen Analyse wurde ein typisches Bild der rechten Standbeinphase ausgewählt und in diesem die Schwerpunkte der Glieder und des **Gliedersystems** Rumpf + Kopf + 2 Arme + Schwungbein (**S₅**) errechnet und in die Zeichnung (siehe unten) eingetragen. Auf diese Weise entstand eine **Projektion der Körperform, der Gelenkmittelpunkte und der Schwerpunkte auf die Frontalebene.**“;

⁷ **Pauwels**, Friedrich

: Der Schenkelhalsbruch ein mechanisches Problem – Grundlagen des Heilungsvorganges – Prognose und kausale Therapie. 1. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag, 1935

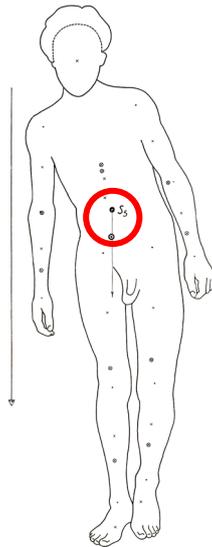


Abb. 6

„Phase aus der Standbeinperiode des Ganges mit seitlichem Hüftthinken und die massgebende Lage des Körperabschnittschwerpunktes S_5 zum Hüftgelenkdrehpunkt des Standbeines“ Seite 144

Dieses Bild wurde mit

„... der für die **Standbeinperiode** des Gesunden gültigen Darstellung verglichen“.

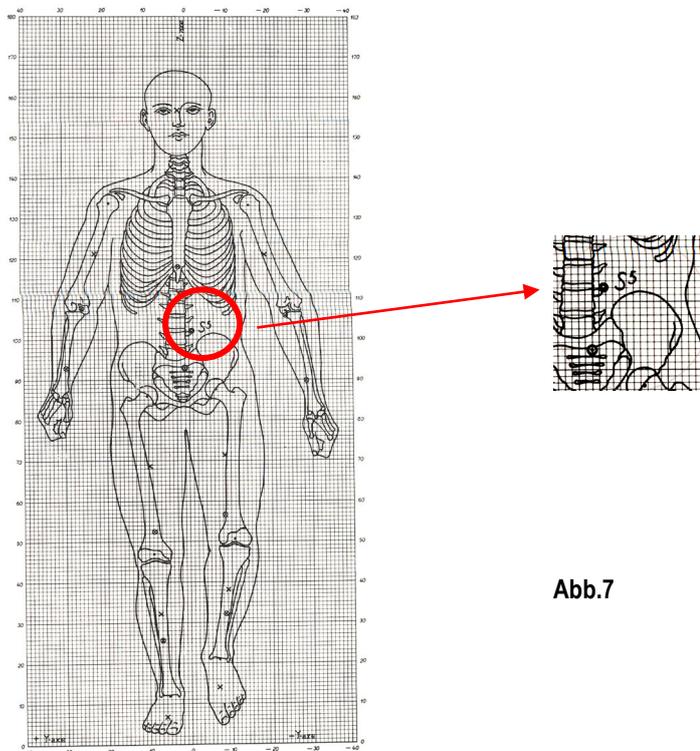


Abb.7

Beide Darstellungen werden der leichteren Übersicht wegen in einer Zeichnung schematisiert und so die biomechanische Analyse durchgeführt.

Exkurs: Gleichgewichtsbedingungen

Zum besseren Verständnis der Ausführungen von Pauwels, werden an dieser Stelle die relevanten Grundlagen der Statik, bzw. des Gleichgewichtes dargestellt (nach **Kummer, Benno** – Einführung in die Biomechanik des Hüftgelenkes. Berlin – Heidelberg – New York: Springer Verlag, 1985)

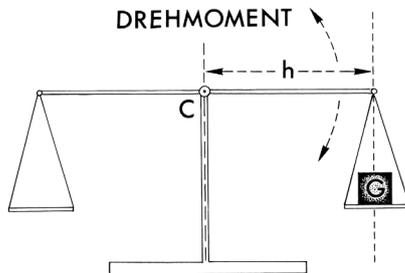


Abb. 8

Wenn eine **Kraft** \vec{F} (im Beispiel die Gewichtskraft \vec{G} oder \vec{K}) an einem Hebel h , der drehbar an einer Drehachse C befestigt ist, eine Drehwirkung bewirkt, bezeichnet man das als **Drehmoment** \vec{M} .

$$\vec{M} = \vec{G} \times \vec{h}$$

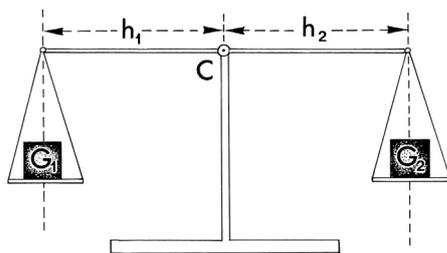


Abb. 9

Die beiden gegenseitig wirkenden Drehmomente \vec{M}_1 und \vec{M}_2 sind im Gleichgewicht, wenn deren Summe Null ist:

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 = 0$$

$$\vec{G}_1 \times \vec{h}_1 = \vec{G}_2 \times \vec{h}_2$$

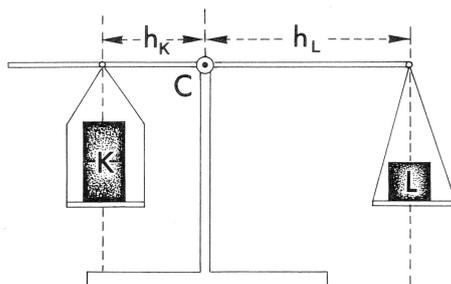


Abb. 10

Bei bekannten Hebelarmverhältnissen lässt sich die **Kraft** \vec{K} bestimmen:

$$\vec{M}_1 = \vec{M}_2$$

$$\vec{K} \times \vec{h}_k = \vec{L} \times \vec{h}_l$$

$$\vec{K} = \vec{L} \times \frac{\vec{h}_l}{\vec{h}_k}$$

oder auch das **Kraftverhältnis** (Hebelgesetz)

$$\vec{K} \times \vec{h}_k = \vec{L} \times n\vec{h}_k$$

$$\vec{K} = \frac{\vec{L}_x \times n\vec{h}_k}{\vec{h}_k}$$

$$\vec{K} = \frac{\vec{L}_x \times n\vec{h}_k}{\vec{h}_k}$$

$$\vec{K} = n\vec{L}$$

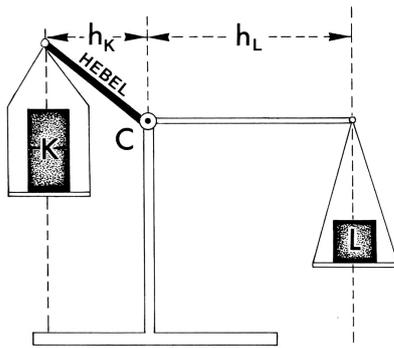


Abb. 11

Die zuvor beschriebene Hebelsituation an der Waage – rechtwinkliger Kraftangriff am Hebel – findet sich im menschlichen Bewegungsapparat selten.

Stattdessen sind die Hebelarme abgewinkelt und man spricht von einem **Winkelhebel**.

An diesem ist der **wirksame Hebel** kleiner als der materielle Hebel, da der wirksame Hebel von der Richtung der Wirkungslinie der betreffenden Kraft abhängig ist und nicht vom eigentlichen Hebel.

Relevant ist immer der **rechtwinklige Abstand** der Kraft bzw. deren **Wirkungslinie zum Drehpunkt C**.

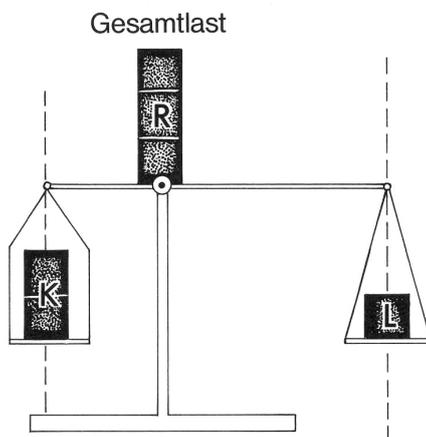


Abb. 12

Die **Gesamtbelastung** der stützenden Säule entspricht der arithmetischen Summe von Kraft und Last, wenn die Wirkungslinien von \vec{K} und \vec{L} parallel verlaufen:

$$\vec{R} = \vec{K} + \vec{L}$$

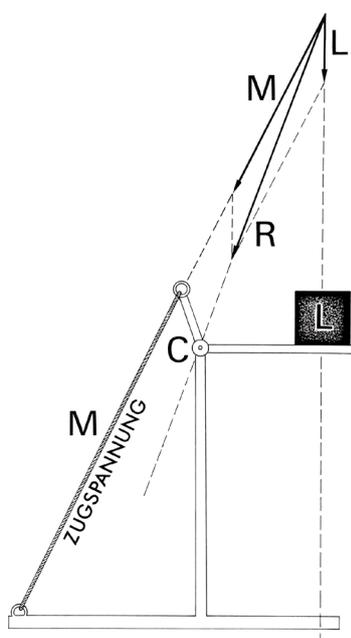


Abb. 13

Am Winkelhebel, also bei nicht parallelen Wirkungslinien der Last \vec{L} und der Muskelkraft \vec{M} , ist die Gelenkbelastung \vec{R} die **Vektorsumme** von \vec{L} und \vec{M} :

$$\vec{R} = \vec{M} + \vec{L}$$

Physiologische Verhältnisse

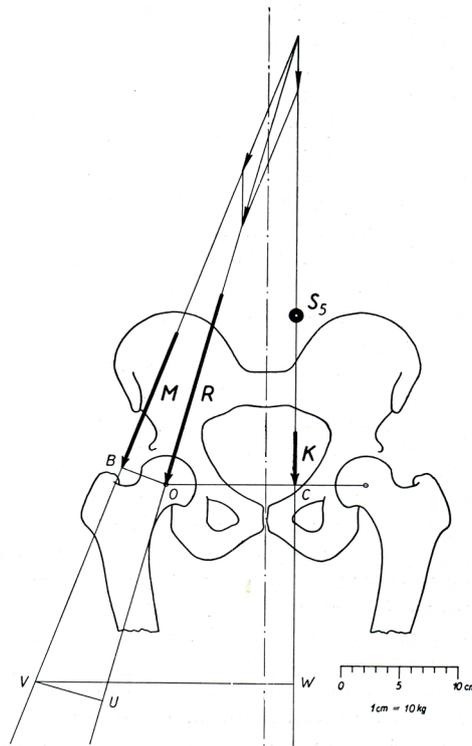


Abb. 14

- S_5 Partialschwerpunkt aller Körpermassen ohne das Gewicht des linken Beines
- \vec{K} Körperabschnittsgewichtskraft
- \vec{M} Muskelkraft der Abduktoren
- \vec{R} Resultierende Kraft der statischen Druckbeanspruchung des Schenkelkopfes
- O Drehachse des Hüftgelenkes
- B Angriffspunkt der Muskelkraft \vec{M}
- C Angriffspunkt der Gewichtskraft \vec{K} von S_5
- V Bezugspunkt zur Bestimmung von \vec{R}
- \vec{BO} wirksamer Hebel von \vec{M} an O (Kraftarm)
- \vec{OC} wirksamer Hebel von \vec{K} an O (Lastarm)

Die Skala dient der Berechnung des Betrages der Kräfte: 1 cm = 10 Kg

„Auf der Zeichnung ist ersichtlich, dass die Masse des auf dem Schenkelkopf ruhenden Körperabschnittes (Rumpf+Kopf+2 Arme+Schwungbein), die man sich im **Schwerpunkt S_5** dieses Körperabschnittes vereinigt denken kann, medial zum Schenkelkopf des Standbeines liegt.

Das Becken würde unter der Körperlast zur Schwungbeinseite hin absinken, wenn seine horizontale Lage nicht durch die Anspannung der abduktorisch wirkenden Muskulatur gesichert wäre. Es kommen deshalb **zwei Kräfte auf den Schenkelkopf zur Auswirkung**:

Auf der **medialen Seite die Körperschwere K**, auf der **lateralen Seite die Spannung der abduktorisch wirkenden Muskulatur M**.

Die Druckbeanspruchung des Schenkelkopfes, welche durch das Körpergewicht ausgelöst wird, wird also **durch zwei in entgegengesetztem Sinne drehende Kräfte**, die sich das Gleichgewicht halten, bestimmt. Auf der **medialen** Seite das **Drehungsmoment der Körperschwere**, auf der **lateralen** Seite das antagonistisch **wirkende Drehungsmoment der Muskelkraft**.

Die **Grösse** dieser beiden Drehungsmomente sowie die **Angriffslinie** der wirkenden äusseren und inneren Kräfte sind für die Grösse und Richtung der Druckbeanspruchung des Schenkelkopfes massgebend und müssen deshalb zunächst bestimmt werden“ .^{Seite 114}

Berechnung der Druckbeanspruchung des Femurkopfes

An dieser Stelle der Arbeit von Pauwels erfolgt eine **detaillierte Berechnung**,

- der **Lage von S_5** und dem **Betrag von \vec{K}**
- sowie deren **Lastarm \vec{OC}**
- des **Betrages und der Richtung der Muskelkraft \vec{M}**
- sowie deren **Kraftarm \vec{BO}**

wobei sich Pauwels bei seinen **Berechnungen die Werte aus der Arbeit von O. Fischer** stützt.

Damit können die **Richtung** und der **Betrag** der **resultierenden Kraft \vec{R}** von \vec{M} und \vec{K} bestimmt werden:

die Richtung

„Aus der Zeichnung ist zu ersehen, dass die während der Standbeinperiode auf den Schenkelkopf wirkende **Druckkraft \vec{R}** von medial oben nach lateral unten gerichtet ist und gegen die Vertikale einen **Neigungswinkel von etwas 16°** aufweist“ .^{Seite 126}

der Betrag

„Dieser wird mit einem Bezugspunkt V auf der Angriffslinie der Kraft \vec{M} liegend, errechnet. Von V aus werden auf die Angriffslinien der Kräfte \vec{R} und \vec{K} die Lote \vec{VU} und \vec{VW} gefällt. Es gilt die Gleichung:

$$\vec{R} \times \vec{VU} = \vec{K} \times \vec{VW}$$

$$\vec{R} = \frac{\vec{K} \times \vec{VW}}{\vec{VU}}$$

Die Werte von **O. Fischer** (Über den Schwerpunkt des menschlichen Körpers. Leipzig: Hirzel, 1889) betragen beim Gesamtkörpergewicht 58.7 Kg und beim Gewicht des Schwungbeines 10.94 Kg. Daraus ergibt sich für K 47.76 Kg.

Die Werte der Strecken \vec{VU} und \vec{VW} werden aus der Zeichnung bestimmt. Somit beträgt

$$\vec{R} = (47.76 \times 22.2) / 6.05$$

$$= 175 \text{ Kg}$$

„Aus der vorstehenden Ableitung ergibt sich, dass bei einem Gesamtkörpergewicht von 58.7 Kg **der, während der Standbeinperiode auf den Schenkel-**

kopf wirkende statische Druck 175 Kg, also etwa das Dreifache des Gesamt-körpergewichtes beträgt“: Seite 127

Pathologische Verhältnisse

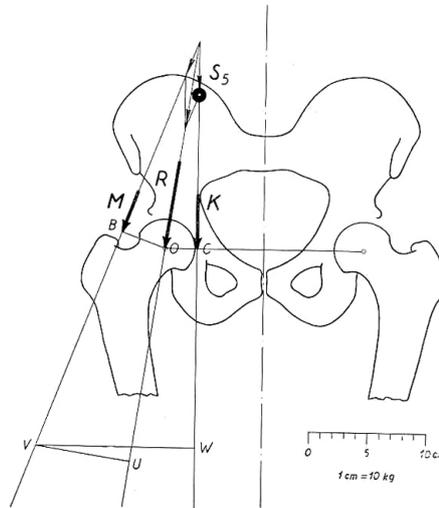


Abb. 15

„Aus der Zeichnung ist ersichtlich, dass durch die seitliche Oberkörperneigung **„eine Umgruppierung in der Verteilung der Masse gegenüber dem Unterstützungspunkte“** hervorgerufen wird.

Der massgebende Körperabschnittsschwerpunkt S_5 ist beim seitlichen Hüft-hinken nicht so weit zur Schwungbeinseite hin verschoben, wie beim physiologischen Gangbild, sondern er ist in **die Nähe des Schenkelkopfes des Standbeines** gerückt.

Infolgedessen ist der **Hebelarm**, unter welchem das **Körpergewicht** auf den Schenkelkopf des Standbeines zur Auswirkung kommt, **sehr klein**. Dies hat zur Folge, dass die Druckbeanspruchung des Schenkelkopfes wesentlich kleiner ist, als beim Gang mit aufrechter Oberkörperhaltung und dass auch die **Neigung der Druckausrichtung einen kleineren Wert aufweist**.

Die Grösse der statischen Druckbeanspruchung des Schenkelkopfes ergibt sich zahlenmässig, wenn man analog der Berechnung für den Gang des Gesunden in die Gleichung

$$\vec{R} = \frac{\vec{K} \times \vec{VW}}{\vec{VU}}$$

das Gewicht des Körperabschnittes S_5 und die in der Zeichnung abgelesene Grösse dieser Strecken einsetzen:

$$\vec{R} = \frac{47.76 \cdot 13.6}{82}$$

$$\vec{R} = 79 \text{ Kg}$$

Die Richtung des auf den Schenkelkopf wirkenden Druckes ist durch die Verbindungslinie des Schnittpunktes von Muskelkraftrichtung und dem nach oben verlängertem Lot aus S_5 mit dem Schenkelkopfdrehpunkt gegeben. Sie bildet mit der Vertikalen einen Winkel von etwa 8° im Vergleich zu 16° beim Gesunden. Die Grösse der statischen Druckbeanspruchung des

Schenkelkopfes beträgt nur etwa **79 Kg im Vergleich zu 175 Kg** während des physiologischen Gangablaufes. Seite 145

Gründe für das seitliche Hüfthinken

Nach **Pauwels**

„bildet das **System im Prinzip einen zweiarmigen Winkelhebel mit den wirksamen Hebelarmen BO und OC**, an welchem im **Punkt C die Schwerkraft des Körperabschnittes S₅** entspricht und im **Punkte B die Muskelkraft M** angreift“. Seite 124

An einem zweiarmigen Hebelsystem herrscht **Gleichgewicht**, wenn die Summe der Drehmomente ist:

$$\sum \vec{M} = 0$$

$$\vec{M}_1 = \vec{K} \times \vec{OC}$$

$$\vec{M}_2 = \vec{M} \times \vec{OB}$$

Werden an einem zweiarmigen Hebel jeweils einzelne Komponenten – Hebelarmlängen oder Kräfte – verändert, müssen sich zur **Gleichgewichtserhaltung** immer auch die restlichen Komponenten verändern. Folgende Fälle sind denkbar

- 1 Verkleinerung des Lastarmes \vec{OC}
- 2 Verkleinerung der Kraft \vec{K} am Kraftarm
- 3 Verkleinerung des Kraftarmes \vec{OB}
- 4 Verminderung der Beanspruchung \vec{R} des Femurkopfes

1 Verkleinerung des Lastarmes

Verkürzt sich durch die Verlagerung des Oberkörpers auf die Seite des Standbeines der Lastarm \vec{OC} , wird **die notwendige muskuläre Gegenkraft \vec{M} automatisch kleiner**.

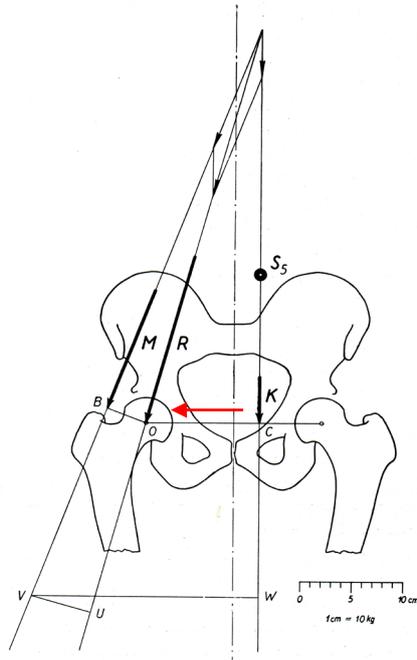


Abb. 16

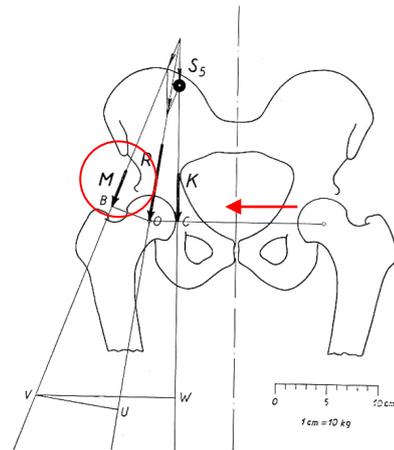


Abb.17

2 Verkleinerung der Kraft am Kraftarm

Umgekehrt kann eine geringere **Muskelkraft** die Verschiebung des Oberkörpers zur Standbeinseite verursachen, und zwar

„... als Folgeerscheinung eines gestörten Gleichgewichtszustandes über dem **Schenkelkopfdrehpunkt** ..., weil durch Verkürzung des Hebelarmes die **Größe des Drehungsmomentes der Körperschwere** an ein **geschwächtes Drehungsmoment der Muskelkraft** angepasst wird.“

„Der **Kraftausfall des Drehungsmomentes der Muskelkraft** kann dadurch hervorgerufen sein, dass

- entweder **die abduktorisch wirkende Muskulatur** infolge einer mehr oder weniger hochgradigen **Lähmung geschwächt ist (absolute Insuffizienz)**
- oder dass **durch Annäherung ihrer Insertionspunkte ihre Ausgangsspannung** und ihre **Aktionsbreite** reduziert ist, z.B. bei Hochstand des Trochanter major **(relative Insuffizienz)**.

3 Verkleinerung des Kraftarmes

„Das Drehungsmoment der Muskelkraft kann zweitens dadurch geschwächt sein,

- daß sein **wirksamer Hebel pathologisch verkürzt** ist, z. B. bei **Coxa valga** oder bei starker Verkürzung des Schenkelhalses.

Das **seitliche Hüftthinken als Anpassungserscheinung** an ein geschwächtes Drehungsmoment der Muskelkraft ist also dadurch bedingt, daß die Muskulatur der Wirkung des Körpergewichtes bei aufrechter Oberkörperhaltung nicht mehr das Gleichgewicht halten kann; es ist also im Sinne eines „**non potest**“ aufzufassen.“

4 Verminderung der Beanspruchung des Femurkopfes

„...kann aber auch das seitliche Hüftlinken bei erhaltener Größe des Drehungsmomentes der Muskelkraft eine **intuitive, zielstrebende Maßnahme** des Körpers sein, welche die **Entlastung des Traggerüstes, also des insuffizienten coxalen Femurendes** erstrebt und dementsprechend im Sinne eines „non vult“ gedeutet werden muss.

Wir finden das seitliche Hüftlinken deshalb folgerichtig in den Fällen, bei welchen die Tragfähigkeit des coxalen Femurendes herabgesetzt ist, also bei **Frakturen oder Erweichungsprozessen** in seinem Bereiche auch dann, wenn keine Insuffizienz des Drehungsmomentes der Muskelkraft vorliegt: deshalb

- beim **nicht dislocierten Schenkelhalsbruch**,
- bei **beginnender Osteochondropathie** im Bereich des coxalen Femurendes,
- sowie nach **Osteotomie bei coxa vara**, wo durch die Abwinkelung des coxalen Femurendes die Größe des Drehungsmomentes der Muskelkraft wieder hergestellt wurde, wo aber andererseits das Drehungsmoment der Körperschwere eine Aufrichtung des proximalen Fragmentes an der Osteotomiestelle erstrebt und die Gefahr der Aufrichtung bei einer noch nachgiebigen Verbindung umso größer ist, je größer das Drehungsmoment der Körperschwere, also je länger sein Hebelarm ist.

Beim noch **nicht fest verheilten Schenkelhalsbruch** ist die seitliche Oberkörperneigung beim Gehen in erster Linie im Sinne eines „non vult“ des Körpers aufzufassen, weil beim reponierten Schenkelhalsbruch die relative Insuffizienz der abduktorisch wirkenden Muskulatur behoben ist.

Das seitliche Hüftlinken **liegt also in dem intuitiven Bestreben des Körpers begründet, das insuffiziente coxale Femurende zu entlasten**, welches wie oben näher ausgeführt, während des Ganges mit aufrechter Körperhaltung einer außerordentlich großen Druckbeanspruchung ausgesetzt ist.

Bei der **Schenkelhalspseudarthrose** oder **Nearthrose** dagegen wird das seitliche Hüftlinken **sowohl durch die Insuffizienz des Traggerüstes als auch durch die relative Insuffizienz der Muskulatur** hervorgerufen, die ihrerseits durch den Trochanterhochstand bedingt ist: eine Tatsache, die für die Therapie der Schenkelhalspseudarthrose von maßgebender Bedeutung ist.

Kommentar

Pauwels präzise biomechanische Analysen der Statik des Hüftgelenkes erlauben die Interpretation der seitlichen, translatorischen Oberkörperbewegung zur Standbeinseite hin als logische Strategie des Körpers, Beanspruchungen der Strukturen durch Veränderung der Last- und Kraftverhältnisse zu reduzieren.

So wäre die von **Duchenne** und **Trendelenburg** als reine Gleichgewichtsreaktion gedeutete Verlagerung des Oberkörpers bei insuffizienter Abduktorenkraft eine biomechanische Notwendigkeit zur Erhaltung der Stabilität.

Natürlich muss sich der Gesamtschwerpunkt innerhalb der Unterstützungsfläche befinden, sonst wirkt ein Kippmoment.

Neurophysiologische Begründung nach A. Brügger⁸

Wie wir oben gesehen haben, bezeichnet **Pauwels** das seitliche Hüftthicken als

„...intuitive, zielstrebende Maßnahme des Körpers ..., welche die **Entlastung des Traggerüsts, also des insuffizienten coxalen Femurendes** erstrebt“

Brügger hat in seiner **Lehre der Funktionskrankheiten** ein neurophysiologisches Modell entwickelt, welche dieses Intuitive des Körpers erklären kann.

Seit den fünfziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts hat sich Brügger mit dem Verhalten des arthromuskulären Systems im Zusammenwirken mit unterschiedlichen Zuständen der inneren und äusseren Vorgänge und den Bedingungen des menschlichen Organismus beschäftigt.

Er ist der Schöpfer der Begriffe **Tendomyosen, pseudoradiculäre Syndrome, sternales Syndrom, symphyseales Syndrom, nozizeptiver somatomotorischer Blockierungseffekt und Funktionskrankheiten des Bewegungssystems**.

Alle Begriffe fassen **Phänomene** zusammen, die **Ausdruck eines komplexen neuralen Regelvorganges** sind, die sich im Organismus manifestieren, wenn Teile seines Systems Gefahren ausgesetzt sind, die im schlimmsten Falle seine Existenz bedrohen.

Dabei wirken die **Nozizeptoren** (*von lat. nocere = schaden*) als Messfühler, die den Organismus über drohende oder schädigende Gefahren informieren. So können entsprechende Schutz- und Korrekturmaßnahmen einleitet werden.

Brügger bezeichnet die Einheit dieses biologischen Schutzmechanismus – der **Functio laesa** – als **nozizeptiven somatomotorischen Blockierungseffekt** – oder abgekürzt den **nsB**.

Wichtig ist dabei auch die **Unterscheidung zwischen Schmerz und Nozizeption!**

Schmerzen gehören in die **Dimension des Bewusstseins**, d.h. sie sind Bewusstseinsinhalte und müssen die Bewusstseinschwelle überschreiten.

Unter **Nozizeption** hingegen versteht man die **Summe der physiologischen Prozesse**, die **Schmerzen induzieren**, wenn Bewusstsein vorhanden ist.

Daraus folgt,

- dass Nozizeption ohne Schmerz ablaufen kann
- und umgekehrt Schmerz nozizeptive Prozesse und Bewusstsein voraussetzt
- und dass der Begriff Schmerzrezeptor nicht sinnvoll ist. Der korrekte Begriff ist Nozizeptor.

„Nozizeptoren sind Sensoren und die zugehörigen afferenten Neurone, die bei unterschiedlich intensiven noxischen Reizen unterschiedlich stark erregt werden. Ihre Erregungen können somit Reize diskriminieren und kodieren, die als unterschiedlich schmerzhaft empfunden werden⁹“

⁸ **Brügger**, Alois

: Lehrbuch der funktionellen Störungen des Bewegungssystems. 1. Aufl. Zollikon: Brügger-Verlag GmbH, 2000

⁹ **Handwerker**, H.O.

: Einführung in die Pathophysiologie des Schmerzes. 1. Aufl. Berlin – Heidelberg – New York: Springer Verlag, 1998, S. 13

Eine **Übersicht** über den **gesamten Regelvorgang** gibt die folgende Grafik:

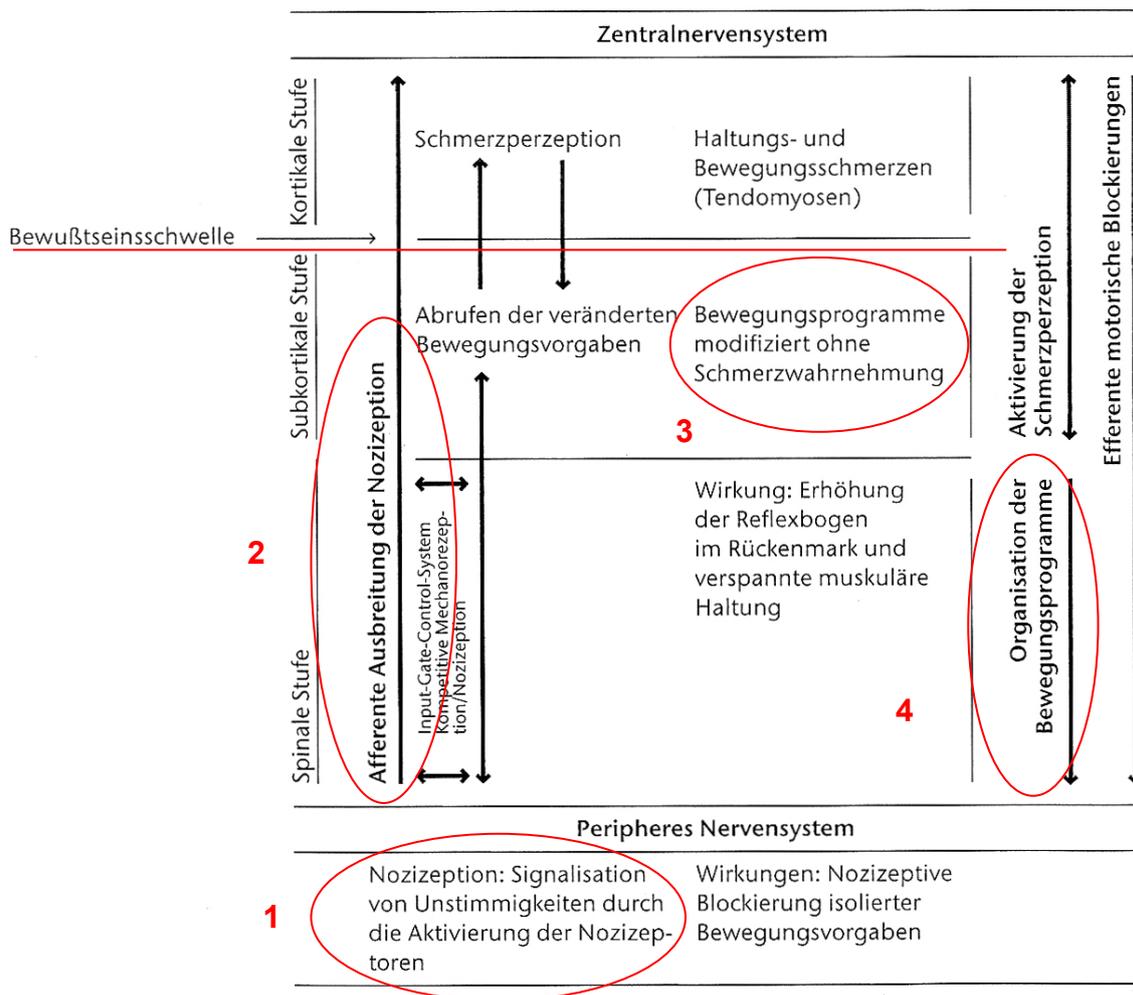


Abb. 18

Diese Grafik veranschaulicht den **Regelkreis der Bewegungsfunktionsstörung**:

- 1 im peripheren Nervensystem erfolgt die **Rezeption** mittels der Nozizeptoren. Die Information wird in den afferenten Nervenfasern via Gate Control System auf die spinale Stufe weitergeleitet.
- 2 dort werden die Signale zentripetal zur **subcorticalen** Stufe des zentralen Nervensystems weitergeleitet
- 3 auf dieser subcorticalen Stufe werden die Signale verarbeitet und führen **ohne zwingende Schmerzwahrnehmung** zur Modifikation der allgemeinen Bewegungsprogramme
- 4 welche sich efferent in der Peripherie als **Bewegungsmuster** manifestieren.

Da dieser Vorgang unterhalb der Bewusstseinschwelle erfolgt, wird er vom Individuum nicht wahrgenommen.

So kann man sich vorstellen, dass das seitliche Hüftthinken das unter nozizeptiven Einfluss modifizierte Bewegungsprogramm „Gehen“ ist.

Dadurch werden die lädierte und nozizeptiv aktive Struktur maximal geschont und der nozizeptive Input reduziert.

Das diese Modifikationen der Bewegungsmuster tatsächlich unbewusst stattfinden, ist eine bekannte klinische Beobachtung.

Spricht man Patienten auf ihre Hinkbewegungen an, so wissen diese meistens nichts davon. Manche sagen, dass sie erst von Drittpersonen darauf hingewiesen wurden. Im Normalfall „macht es einem der Körper“.

Therapeutisch ist es auch wichtig, zu verstehen, dass die Bewegungsmuster beim Fortbestehen nozizeptiver Afferenzen, willentlich nicht geändert werden können. Eine Bewegungsschulung in diesem Stadium macht keinen Sinn. Es muss also erst die nozizeptive Afferenz ausgeschaltet werden.

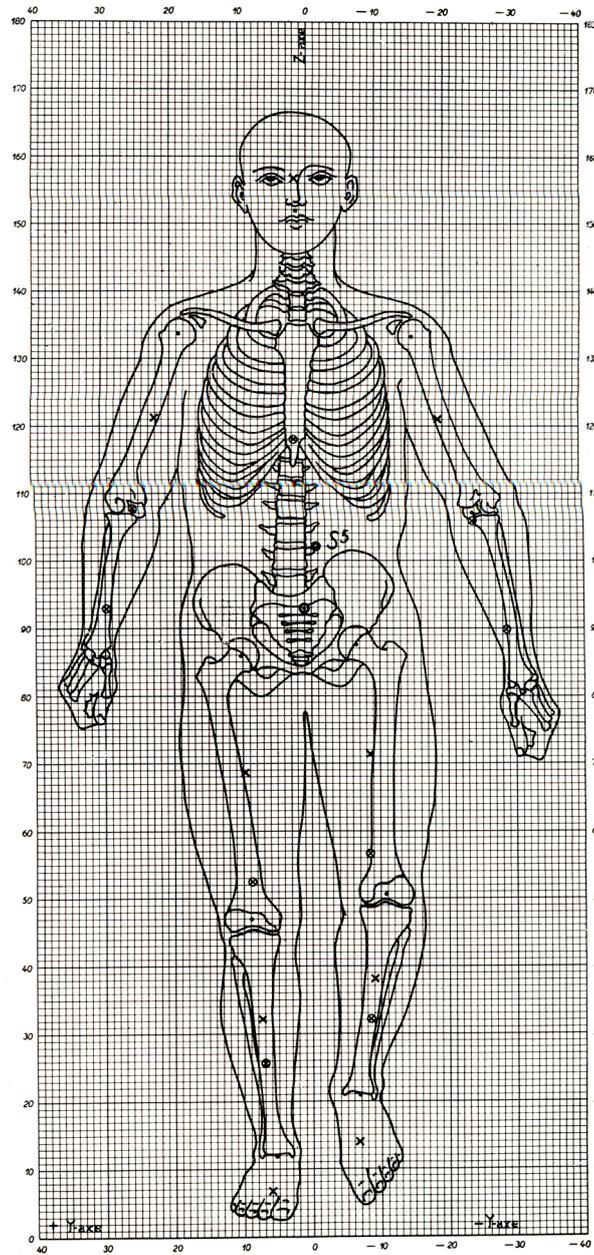
Ist der nozizeptive Input sehr stark, erreicht dieser die kortikale Ebene und die Bewegungen werden effektiv schmerzhaft. Dabei treten die von Brügger beschriebenen Tendomyosen auf.

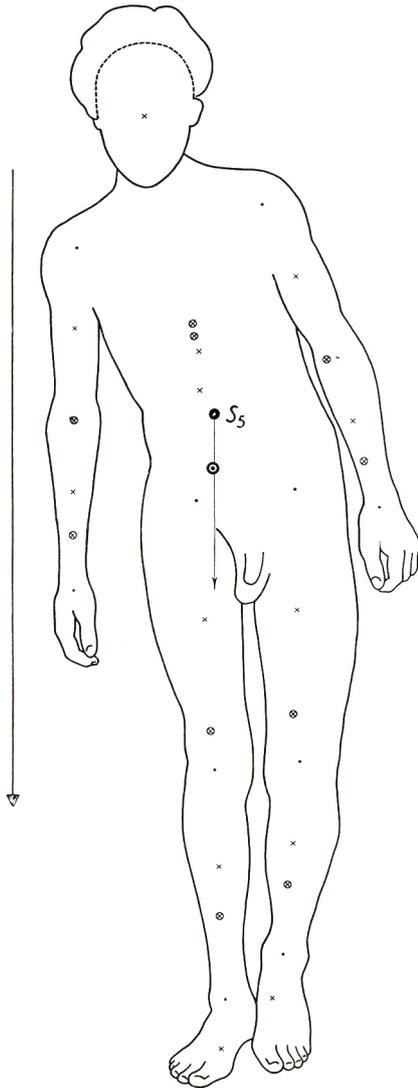
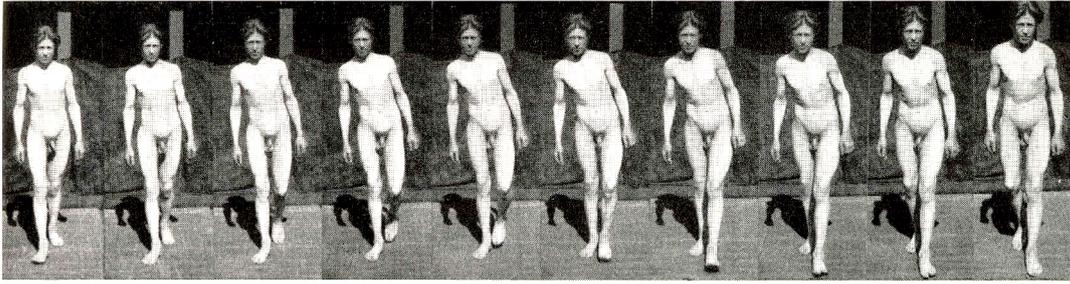
Kommentar

Brüggers neurophysiologisches Modell erlaubt Deutung des „Intuitiven“ nach **Pauwels**. Der **nsB** dient dabei der Schonung der lädierten Struktur und ist so Ausdruck der **Functio laesa**.

Auf der Bewegungsebene manifestiert sich diese immer als eine von der Norm abweichende Bewegung, eine Hink Bewegung zum Beispiel oder eine Ausweichbewegung.

Solches geschieht unbewusst und eine Korrektur ist dem Willen des Individuums nicht möglich. Erst wenn die nozizeptive Afferenz ausgeschaltet ist – also, wenn die Strukturen wieder verheilt sind – sind physiologische Bewegungsmuster wieder möglich.





Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Mummenthaler	6
Abb. 2	Trendelenburg	9
Abb. 3	Tendelenburg	10
Abb. 4	Trendelenburg	11
Abb. 5	Tendelenburg	13
Abb. 6	Pauwels	14
Abb. 7	Pauwels	14
Abb. 8	Kummer	15
Abb. 9	Kummer	15
Abb. 10	Kummer	15
Abb. 11	Kummer	16
Abb. 12	Kummer	16
Abb. 13	Kummer	16
Abb. 14	Pauwels	17
Abb. 15	Pauwels	19
Abb. 16	Pauwels	21
Abb. 17	Pauwels	21
Abb. 18	Brügger	24