

Bewegungsanalyse:

Objektivität nur bedingt möglich

Björn Gustafsson, Michael Kriwat

Bei der Auswertung von Winkelstellungen der unteren Extremität auf dem Laufband können bestimmte Fehler zu einer Fehlinterpretation der vermeintlich objektiven Werte führen. Die Autoren beschreiben die Fehlerquellen und stellen Kriterien auf, die man auf jeden Fall beachten sollte.

Mit der Einführung von computerunterstützten Meßsystemen zur Bewegungsanalyse auf dem Laufband stellt sich die Frage einer objektiven Sicherheit der gewonnenen Daten. Zum medizinischen und wissenschaftlichen Diskutieren müssen solche Daten sogenannten Gütekriterien standhalten. Unter diesen versteht man die Objektivität, die Zuverlässigkeit und die Gültigkeit einer Untersuchung. Besonders sticht die Objektivität hervor. Sie besagt, ob die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen und unterschiedlicher Versuchsleiter miteinander vergleichbar sind. Objektive Ergebnisse liefern zum Beispiel moderne Herzfrequenzmeßgeräte. Hier sind die gewonnenen Daten untereinander konvergierend.

Bei der Auswertung von Winkelstellungen der unteren Extremität auf dem Laufband können bestimmte Fehler zu einer Fehlinterpretation der vermeintlich quantitativ korrekten Werte führen. Diese Fehler sollten bekannt sein, so daß sie in der Diskussion und der problemorientierten Versorgung des Patienten berücksichtigt werden. Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Arbeit mit dem COVILAS-Softwaresystem, sind aber auch auf andere Systeme, welche mit Hautmarkierungen arbeiten, übertragbar.

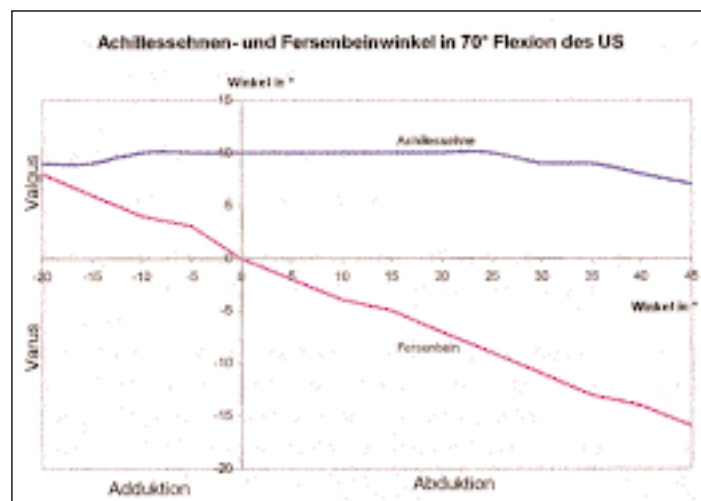
Mögliche Fehlerquellen bei der Winkelmessung:

- Adduktion/ Abduktion der Fußlängsachse auf dem Laufband
- Anbringungen der Hautmarkierungen
- Markierung Calcaneus proximal vs. distal
- Verschiebung der Hautmarkierungen:
- Verschneidungen der Optik (Analoge Kameratechnik vs. Digital)
- Kamerajustierung & Kalibrierung des Raumes
- Geschwindigkeit des Laufbandes
- „Klickungenauigkeit“ & Pixelunschärfe bei Darstellung auf dem Computermonitor

Winkel in der Stützphase

Die COVILAS-Computersoftware ermöglicht es, Winkelstellungen der unteren Extremitäten in verschiedenen Phasen des Bewegungsablaufes zu messen. Die Auswertung erfolgt über „Anklicken“ der markierten Körperpunkte auf einem Computerbildschirm. Die Software errechnet die Winkel der Körperpartien. Die in diesem Artikel vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf den als Achillessehnen- und Fersenbein definierten Winkel in der Stützphase.

Der Achillessehnenwinkel (AS) ist ein gelenkbezogener Winkel (vgl. Abb. 1). Er beschreibt die Stellung des Fersenbeins zum Unterschenkel



Tab. 1 Unterschiedliche Blickwinkel bei der Betrachtung der Markierungen ergeben unterschiedliche Winkel-Werte.

mit dem unteren Sprunggelenk (Oberkante Calcaneus) als Drehpunkt. Die Aussagekraft des Winkels ist stark abhängig von der Stellung des Unterschenkels bei bestehenden valgischen oder varischen Abweichungen der Beinachse.

Der Fersenbeinwinkel (FB) ist ein Segmentwinkel. Er ist raumbezogen und gibt die valgische oder varische Stellung des Fersenbeins abweichend von der Vertikalen an (vgl. Abb. 2). Er ist stark von der korrekten Markierung der Ferse abhängig.

Als Stützphase gilt der Zeitraum, in dem der gesamte Fuß Bodenkontakt zum Untergrund hat. Die in dieser Untersuchung dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf den Zeitpunkt, in dem der Körperschwerpunkt über dem oberen Sprunggelenk steht.

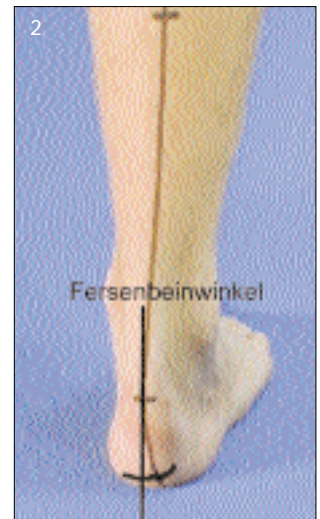
Fehlerquellen bei der Winkelmessung

Adduktion/Abduktion der Fußlängsachse auf dem Laufband

Als Adduktion (Einwärtsrotation) beziehungsweise Abduktion (Auswärtsrotation) ist die Stellung der Fußlängsachse in Laufrichtung gemeint. Eine Null-Grad-Stellung bedeutet, daß die Achse mittig durch das Fersenbein und in Verlängerung zwischen den Metatarsalköpfchen II und III verläuft. Diese Betrachtungsweise ist die Referenzstellung für alle weiteren Messungen. Wird der Fuß in einer auswärtsrotierten Stellung aufgesetzt, erhält man andere Werte im Achillessehnen- und Fersenbeinwinkel als frontal von hinten. Gleiches

1 Der Achillessehnenwinkel (AS) beschreibt die Stellung des Fersenbeins zum Unterschenkel mit dem unteren Sprunggelenk als Drehpunkt.

2 Der Fersenbeinwinkel (FB) gibt die valgische oder varische Stellung des Fersenbeins abweichend von der Vertikalen an.



gilt für die innenrotierte Stellung.

Dies gilt in besonderem Maße zu beachten, da gerade der Wert des FB-Winkels als falsch interpretiert werden kann. Das Fersenbein erscheint bei einer abduzierten Stellung des Fußes in Varus zu stehen, und somit kommt es bei geringen Achillessehnenwinkel oft zu der Annahme, es würde eine varische Stellung im Fersenbein vorliegen, obwohl dies nur einen Meßfehler darstellt. Steht der Fuß stark adduziert (in der Praxis deutlich seltener), scheint der Wert des Fersenbeines in eine valgische Stellung zu driften.

In der Praxis hat es sich gezeigt, daß es nicht möglich ist den exakten Wert der Rotation des Fußes zu ermitteln. Auch eine Kameraposition von transversal läßt keine Ergebnisse zu, da der Fuß durch den Oberkörper – mit seiner leichten Vorlage – in der Draufsicht verdeckt ist. Wie hoch die Abweichungen in Zusammenhang mit der Abd/Adduktion sind, veranschaulicht Tabelle 1.

Die Untersuchung wurde mit einem Modell in 70° Flexion des Unterschenkels – dies entspricht der durch-

schnittlichen Beugung des Unterschenkels in der Stützphase – sowie mit dem definierten AS Wert von 10° Valgus und einem FB-Winkel von 0°, durchgeführt. Aus der Darstellung ist zu entnehmen, daß die Winkel, welche jetzt durch „Anklicken“ auf dem Bildschirm gemessen werden, unterschiedliche Werte bei unterschiedlichen Stellungen des Fußes aufweisen. Diese entstehen durch die Betrachtung der Markierung aus einem anderen Blickwinkel heraus.

Der Achillessehnenwinkel ist in einer Spanne von 10° Adduktion bis 25° Abduktion als konstant zu betrachten. Erst ab einer Fußstellung von 30° bis 45° Abduktion, verändert sich der Wert bis auf 7° Valgus.

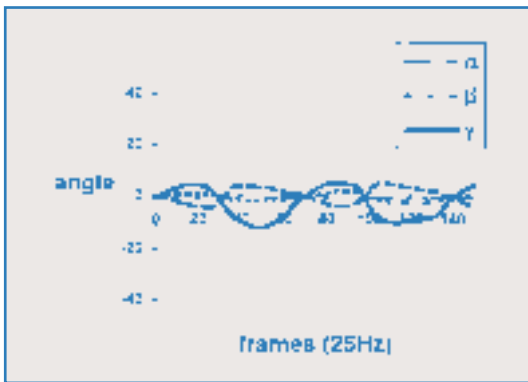
Dramatischer verfälscht sich der Wert des Fersenbeinwinkels. Dieser verändert sich mit der Rotation der Fußlängsachse linear. Steht der Fuß in einer abduzierten Stellung, scheint das Fersenbein optisch in Varus zu stehen. Umgekehrtes gilt für eine adduzierte Fußstellung.

GEGEN DEN STROM

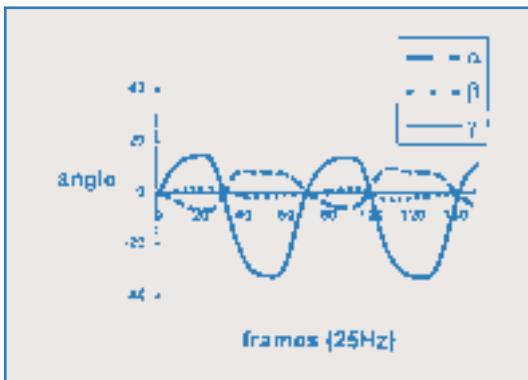
Für immer grüßere Seen sollen immer mehr Flüsse zu "Wasser-Autobahnen" ausgebaut werden. Zögert wie ein Kanal-Arbeiter in Baum und rote Karte. Fordern Sie das Info "Haltet unsere Flüsse!" an (für 5 DM + Briefmarken).



NA20
Postfach 30 10 51
51199 Bonn



3 Relative Winkel berechnet durch knochenfixierte Markierungen (α = Knieextension; β = Adduktion des Unterschenkels; γ = Interne Rotation der Tibia).



4 Relative Winkel berechnet durch Hautmarkierungen (α = Knieextension; β = Adduktion des Unterschenkels; γ = Interne Rotation der Tibia).

Daraus folgt, daß selbst bei einer normalen Stellung des Fußes von etwa 12° Außenrotation, der Fersenbeinwert fehlinterpretiert wird. Dieses wird mit einem um 3° erhöhten varischen Wert gemessen.

Anbringungen der Hautmarkierungen

(Markierung Calcaneus proximal <-> distal)

Die Anbringungen der Hautmarkierungen des AS Winkels muß mit einem flexiblen Stahllineal, welches exakt die Kontur des Unterschenkels wiedergeben kann, vollzogen werden. Es folgt die Markierung des Calcaneus an seiner Oberkante. Dieser Punkt gibt in etwa die Drehachse des unteren Sprunggelenks wieder. Er muß mit äußerster Sorgfalt gewählt werden und sollte einheitlich von lateral getastet werden. Wird dieser Punkt nicht korrekt getroffen, so verschieben sich die ermittelten Werte im AS- und FB-Wert um bis zu 3° - abhängig von dem Wert des Achillessehnenwinkels. Bei hohen Werten (Überpronation oder erhöhte Unterschenkelvarusstellung) ändert sich dieser Wert stärker als bei geringen Werten im Achillessehnenwinkel.

Ausgehend von einem Achillessehnenwinkel von 18° bei einer Abduktionsstellung der Fußlängsachse von

12° ändert sich der „gemessene“ AS-Wert bei einer falschen Markierung von 5 Millimeter nach ventral um 2° nach varus. Er wird geringer ermittelt, als bei einer korrekten Markierung. Sitzt dieser Punkt 5 Millimeter dorsal von der Oberkante des Calcaneus, kommt es zu einer „Veränderung“ der Werte von 2° in Richtung höherer valgischer Werte. In diesem Beispiel wären dies 20° Valgus.

Für das Fersenbein ändert sich demzufolge der Wert in ähnlicher Weise. Es ergibt sich noch eine zusätzliche anatomische Fehlerquelle, nämlich die Fersenform. Sie ist von maßgeblicher Bedeutung.

Grundsätzlich gilt: Wird die Markierung weiter ventral angesetzt, wird der Fersenbeinwert varischer gemessen, sitzt der Punkt dorsal, erhält der Auswerter valgischere Werte.

Bei einer fleischigen Ferse oder Haglundferse, ist diese Änderung aufgrund der Formvariation anders. Bei zunehmender Außenrotation des Fußes erscheint der gerade gezogene Strich halbrund. Dies fordert die Notwendigkeit eines fest definierten unteren Klickpunktes. Dieser sollte einheitlich (zwischen 4 oder 5 cm) unterhalb des ventralen Punkt des Calcaneus liegen.

Diese genauen Definitionen der Markierungspunkte sind von immenser Wichtigkeit, sind sie doch nicht berechenbar und lassen so keine Korrektur zu. Vergleichsuntersuchungen wären sonst nicht einmal im Ansatz interpretierbar.

Verschiebung der Hautmarkierungen

In einer Studie von Karlsson und Lundberg wurde die Verschiebung von Hautmarkierungen gegenüber fixierten Knochenpunkten untersucht. So wurden nach einer Lokalanästhesie Markierungspunkte in den Femurcondylus und das Tibiaplateau eingepflanzt. Zusätzlich wurden Hautmarkierungspunkte angebracht. Die Auswertung erfolgte mit dem Pro-Reflex System, welches mit Infrarotlicht arbeitet und eine automatische Markererkennung besitzt. Ermittelt wurden die abweichenden Ergebnisse zwischen knochenfixierten Markierungen, im Bereich der Knie Extension, der Adduktion des Unterschenkels und der internen Rotation der Tibia.

Die Unterschiede in der Auswertung waren sehr groß. So kommt es bei der Tibiarotation, ermittelt durch Hautmarkierungspunkte zu einer Amplitude von 50° in der Rotation zwischen Tibia und Femur, während die am Knochen verankerten Markierungen eine Amplitude von unter 20° aufweisen (vgl. Abb. 3 und 4).

Dies ist hauptsächlich auf die hohe Mobilität der Haut des Oberschenkels zurückzuführen. Die Hautmarker des Unterschenkels zeigen weit geringere Abweichungen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen deutlich, daß die Wahl der Hautmarkierungspunkte so gewählt werden müssen, daß eine Verschiebung der Haut über dem Knochen möglichst gering ausfällt.

Im Bereich des AS-Winkels heißt dies, daß eine gesicherte Rotation des Unterschenkels mit Hautmarkierungspunkten nicht nachweisbar ist, da ein Rückschluß auf die knöcherne Struktur nicht zulässig sein kann.

Weitere Fehlerquellen

Verschneidungen der Optik (Analoge Kameratechnik vs. Digital)

Bei Einsatz von analogen Kameras kommt es abweichend von der Bildmitte zu sphärischen Abweichungen der Linse. Dieser Fehler beträgt für den Bereich des Unterschenkels bis zu 2° und kann durch mittige Ausrichtung der Kamera oder durch den

Einsatz von digitalen Kameras ausgeschlossen werden.

Kamerajustierung & Kalibrierung des Raumes

Die Kamerakalibrierung ist von größter Wichtigkeit und muß zur Messung von korrekten Winkeln unbedingt erfüllt sein.

Geschwindigkeit des Laufbandes

Um eine Vergleichbarkeit einzelner Untersuchungen annähernd zu gewährleisten, muß die Geschwindigkeit des Laufbandes konstant gehalten werden. Unterschiedliche Geschwindigkeiten führen zu veränderten Kräften und Winkelstellungen. Eine Geschwindigkeit von 10 km/h hat sich als geeignet erwiesen.

„Klickungenaugigkeit“ & Pixelgröße bei Darstellung auf dem Computermonitor

Wird bei der Auswertung der Daten der Markierungspunkt nicht genau getroffen, kommt es zu Abweichungen der Ergebnisse. Der Untersucher muß hier größte Sorgfalt walten lassen. Dieser Fehler kann bei dem COVILAS-System durch eine Funktion „Mitteln“ verringert werden.

Langzeitstudien bringen weitere Anforderungen

Bei Langzeituntersuchungen treten zudem folgende Punkte in Kraft:

- Unterschiedliche Laufstile - Barfuß vs. Laufschuh
- Planung der Versuchsdurchführung (vorzüglich in schriftlicher Form)
- Gewöhnungs- und Ermüdungseffekte.

Objektivität nur bedingt möglich

Eine objektive Meßwiederholung ist aufgrund der genannten Probleme nicht möglich. Auch zwischen den einzelnen Untersuchern werden zu große Diskrepanzen der Vorgehensweise herrschen.

Es gilt aber fraglos festzuhalten, daß mit dem COVILAS-System weit aus genauere Ergebnisse erzielt werden, als durch die Bewertung mit dem bloßen Auge oder ohne den Einsatz dieser Technik. Ist man sich über die Meßfehler im Klaren, kann der Fachmann Rückschlüsse auf die „wahren“ Stellungen des Bewegungsapparates ziehen und somit Fehlstellungen des Bewegungsapparates ansatzweise objektivieren. Der Meßleiter stellt somit den wichtigsten Punkt dar, da er die Ergebnisse interpretieren muß und dementsprechend Rezeptvorschläge oder spezielle Empfehlungen zu verschiedenen Bereichen, wie Kräftigung oder Mobilisation einzelner Strukturen, ausarbeiten kann.

Für den Berufszweig des Orthopädienschuhtechnikers bietet dieses System Möglichkeiten zu einer genaueren

Anpassung seiner Hilfsmittel und liefern zudem quantitative Ergebnisse zur interdisziplinären Zusammenarbeit mit Ärzten und Physiotherapeuten.

Anschrift der Verfasser:

Kriwat GmbH
Lerchenstr. 21
24103 Kiel
e-mail: laufband@kriwat.de

Keywords: Motion analysis, angle measurements, angle of the Achilles tendon, angle of the heel bone, Covilas-system

**Björn Gustafsson, Michael Kriwat:
Objectivity only limited possible**

Due to many problems, an objective repetition of the measurement and interpretation is not possible. The position of the longitudinal axi of the foot on the motion belt, the making and moving of skin markings amongst other items may lead to incorrect results. There are also big differences in the procedure of the people carrying out the examinations. Nevertheless the results of the motion analysis achieved with the help of computeraided systems are far more exact than those merely achieved by evaluation with the eye or without using this technology. Keeping the errors of the measurement in mind, the expert can draw conclusions as to the "true" positions of the motion apparatus and this way try to correct incorrect positions of the motion apparatus.

CRISPIN Systems

Ihr Ansprechpartner: **DVSG Crispin Systems**
Herr Thaler
Schachenstrasse 3 - 11
66954 Pirmasens
Tel.: 0 63 31/8707-14
Fax: 0 63 31/8707-77
E-Mail: t.thaler@crispin.choin.de



SGI Workstation



Software Orthotec



Lederschneidetisch

Crispin:

Hard- und Software für schnelles Design von orthopädischem Schuhwerk.