



(10) **DE 10 2009 046 643 A1** 2011.05.12

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 046 643.6**

(22) Anmeldetag: **11.11.2009**

(43) Offenlegungstag: **12.05.2011**

(51) Int Cl.: **A61B 5/11 (2006.01)**

A61B 5/103 (2006.01)

G01B 3/08 (2006.01)

(71) Anmelder:
Universität Rostock, 18055 Rostock, DE

(74) Vertreter:
**Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig &
Schneider, 10179 Berlin**

(72) Erfinder:
**Salomon, Ralf, Prof., 18119 Rostock, DE; Bruhn,
Sven, Prof., 18059 Rostock, DE; Joost, Ralf, Dipl.-
Ing., 18225 Kühlungsborn, DE; Brackebusch,
Korinna, 18069 Rostock, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

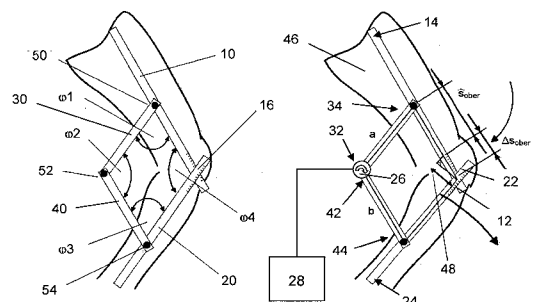
DE	10 2004 055234	A1
DE	20 2006 009353	U1
FR	11 32 754	A
GB	21 91 593	A
WO	98/0 31 274	A2
WO	2008/0 40 790	A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Messung der Tibierverschiebung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Messung der Tibierverschiebung bei Säugern unter Belastung. Die Vorrichtung weist mindestens eine erste und eine zweite Schiene auf, die seitlich an Ober- bzw. Unterschenkel befestigt werden können und im Bereich des Kniegelenks einen Überlappungsbereich aufweisen. Aus der Verschiebung der ersten und zweiten Schiene im Überlappungsbereich kann die Tibierverschiebung direkt und/oder indirekt berechnet werden. Vorteilhafterweise ist die erfindungsgemäße Vorrichtung auch unter Bewegung und Belastung einsetzbar.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Messung der Tibiaverschiebung bei Säugern unter Belastung. Die Vorrichtung weist mindestens eine erste und eine zweite Schiene auf, die seitlich an Ober- bzw. Unterschenkel befestigt werden können und im Bereich des Kniegelenks einen Überlappungsbereich aufweisen. Aus der Verschiebung der ersten und zweiten Schiene im Überlappungsbereich kann die Tibiaverschiebung direkt und/oder indirekt errechnet werden. Vorteilhafterweise ist die erfindungsgemäße Vorrichtung auch unter Bewegung und Belastung einsetzbar.

[0002] Gelenke stellen einen elementaren Teil des menschlichen Bewegungsapparats dar, da sie der Umwandlung der Muskelkräfte in Bewegungen dienen. Das größte Gelenk des menschlichen Körpers ist das Knie. Die grundlegende Aufgabe des menschlichen Knies besteht darin, einen stabilen aufrechten Stand zu gewährleisten und die Muskelkräfte zur Fortbewegung oder zum Verrichten von Arbeit auf die Umwelt zu übertragen. Die Stabilität des Kniegelenks spielt bei der Erfüllung dieser Aufgabe eine zentrale Rolle. Der Begriff der funktionellen Stabilität bezeichnet in der Medizin die Fähigkeit, Gelenkaktivitäten, d. h. Bewegungen aber auch Belastungen im Ruhezustand, zu kontrollieren. Die funktionelle Stabilität eines Gelenkes beruht auf dem Zusammenspiel verschiedener starrer und flexibler Bestandteile wie den Knochen, Muskeln und Bändern. Die einzelnen Bestandteile haben hierbei einen unterschiedlich starken Einfluss.

[0003] Für das Kniegelenk ist besonders das vordere Kreuzband ein wichtiger Stabilisator. Eine Verletzung des Kreuzbandes (Kreuzbandriss) führt zu einer pathologischen Bewegungsfreiheit des Schienbeins (Tibia) und dadurch zur Einschränkung der Stabilität. Die Bewegungsfähigkeit des Betroffenen ist dadurch beeinträchtigt, was im Alltag, aber besonders im Sport zu Behinderungen führen kann. Zudem sind die Menisken durch die erhöhte Tibiaverschiebung einem erhöhten Stress und somit einem erhöhten Verletzungsrisiko ausgesetzt. Daher muss die Ruptur eines Kreuzbandes in der Regel operativ durch eine Bandplastik versorgt werden.

[0004] Ein Maß zur Beurteilung des Gesundheitszustandes des vorderen Kreuzbandes stellt somit die anteriore Tibiaverschiebung, d. h. die nach vorne gerichtete Verschiebung des Oberschenkelknochens senkrecht zur Längsachse des Schienbeins in der Sagittalebene, dar. Anhand dieser Verschiebung lassen sich Aussagen über den Gesundheitszustand des Knies treffen, Verletzungen erkennen, die der Betroffene selbst vielleicht noch nicht bemerkt hat, und der Heilungsverlauf beobachten. Die rechtzeitige Erkennung einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes kann die Schwere gesundheitlicher Schäden folglich reduzieren.

[0005] Vorrichtungen zur Messung der Tibiaverschiebung sind grundsätzlich bekannt. Allerdings sind die vorhandenen Messapparaturen nur im Liegen anwendbar. Beispielsweise offenbart die WO 2008/040790 A1 eine entsprechende Vorrichtung, in der Oberschenkel und Fuß in der Apparatur fixiert werden. Ein mechanischer Stempel drückt dann die Wade entgegen der Fixierung gegen die Messeinrichtung. Die Tibia wird also entsprechend der Stabilität des Knies gegenüber dem fixierten Oberschenkel mechanisch verschoben und die resultierende Tibiaverschiebung gemessen. Nachteilig an diesem System ist vor allem, dass keine Aussagen über die Stabilität des Kniegelenkes unter Belastung bzw. der natürlichen Bewegung möglich und die Geräte nicht mobil einsetzbar sind.

[0006] Die WO 98/31274 offenbart eine Messapparatur, die zumindest am Stehenden Patienten eingesetzt werden kann. Diese Apparatur weist wenigstens zwei ausrichtbare Abstandssensoren auf, die von vorne auf die Kniescheibenfläche und die vordere Schienbeinrauigkeit aufgesetzt werden. Die Abstandssensoren werden über eine Gerüststruktur und ein Trägergestell am Schienbein des Patienten befestigt. Allerdings ist auch diese Vorrichtung nicht zur in-situ Verwendung bei Bewegungsabläufen, wie beispielsweise während einer akuten sportlichen Leistung, geeignet.

[0007] Es ist somit die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Probleme im Stand der Technik zu überwinden und eine alternative Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung der Tibiaverschiebung bereitzustellen, die unter Belastung sowie bei Bewegung, wie z. B. beim Laufen oder Springen, eingesetzt werden kann. Dabei soll die Bewegungsfreiheit des Knies durch die Messapparatur möglichst wenig eingeschränkt werden und die Tibiaverschiebung in jeder möglichen Position messbar bleiben.

[0008] Die erfinderische Aufgabe wird mit einer Vorrichtung nach einem der Hauptansprüche gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0009] Die Erfindung betrifft also eine Vorrichtung zur Messung der Tibiaverschiebung aufweisend

- eine erste Schiene mit einem ersten Ende und einem zweiten Ende, die geeignet ist, am Oberschenkel eines Säugetiers befestigt zu werden, wobei die Befestigung derart erfolgt, dass die erste Schiene im Wesentlichen parallel zum Oberschenkelknochen in Relation zu diesem fixiert ist,
- eine zweite Schiene mit einem ersten Ende und einem zweiten Ende, die geeignet ist, am Unterschenkel eines Säugetiers befestigt zu werden, wobei die Befestigung derart erfolgt, dass die zweite Schiene im Wesentlichen parallel zum Unterschenkelknochen in Relation zu diesem fixiert ist, wobei erste und zweite Schiene derart angeordnet sind, dass die ersten Enden einen Überlappungsbereich ausbilden,
- eine dritte Schiene aufweisend ein erstes Ende und ein zweites Ende, wobei die dritte Schiene mit dem zweiten Ende drehbar an der ersten Schiene befestigt ist,
- eine vierte Schiene aufweisend ein erstes Ende und ein zweites Ende, wobei die vierte Schiene mit dem zweiten Ende drehbar an der zweiten Schiene befestigt ist und wobei die dritte und vierte Schiene an ihren ersten Enden drehbar miteinander verbunden sind,
- und ein Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung der ersten und zweiten Schiene im Überlappungsbereich.

[0010] Die erfindungsgemäße Messvorrichtung besteht also aus vier Schienen, die in einer Ebene liegen und ein veränderliches Viereck aufspannen. Dabei sind die Schienen, d. h. die Seiten des Vierecks an drei der vier Ecken drehbar miteinander verbunden. Somit ergibt sich ein Doppelgelenk bestehend aus zwei Hebeln und drei Achsen. An der vierten Ecke sind die Schienen nicht fest zueinander fixiert bzw. fest miteinander verbunden, sondern weisen einen Überlappungsbereich auf. Unter „Überlappungsbereich“ wird erfindungsgemäß verstanden, dass sich die ersten Enden und/oder der angrenzende Bereich der ersten und zweiten Schiene im Bereich der vierten Ecke des veränderlichen Vierecks berühren. Dabei wird durch die Berührung die laterale Beweglichkeit der ersten und zweiten Schiene nicht beschränkt. Alternativ sind erste und zweite Schiene derart verkürzt, dass sich die ersten Enden und/oder der angrenzende Bereich der ersten und zweiten Schiene im Bereich der vierten Ecke des veränderlichen Vierecks nicht berühren, wobei der Überlappungsbereich aus der virtuellen Verlängerung der ersten und zweiten Schiene gebildet wird.

[0011] Unter „Schiene“ soll erfindungsgemäß jeder gerade, räumlich ausgedehnte Körper verstanden werden, dessen Ausdehnung in eine Raumrichtung signifikant größer als in die anderen beiden Raumrichtungen ist. Bevorzugte Schienen sind zylindrische oder flache Stäbe. Während der Messung ist die erfindungsgemäße Vorrichtung derart zu orientieren, dass zwei der vier Schienen auf einer Seite, vorzugsweise der Außenseite des zu untersuchenden Beines im Bereich des Ober- und Unterschenkels und der Überlappungsbereich im Bereich des Knies positioniert sind. Dritte und vierte Schiene verbinden erste und zweite Schiene auf der dorsalen (posterialen) Seite des Beines, d. h. auf der Seite der Kniekehle, miteinander.

[0012] Durch die Bestimmung aller vier Innenwinkel und Seitenlängen dieses Vierecks wird erfindungsgemäß die Detektion der Tibiaverschiebung ermöglicht.

[0013] Je eine Schiene wird also am Ober- bzw. am Unterschenkel eines Beines fest angebracht, so dass die Schiene und der Schenkel den gleichen Richtungssinn besitzen, d. h. im Wesentlichen parallel sind. Unter „im Wesentlichen parallel“ soll im Rahmen der Erfindung verstanden werden, dass der Winkel zwischen der Achse des Oberschenkel- bzw. Unterschenkelknochens und der auf dem Ober- bzw. Unterschenkel fixierten Schiene kleiner als 15° , vorzugsweise kleiner als 10° , weiter bevorzugt kleiner als 5° und am meisten bevorzugt 0° ist. Die anderen zwei Schienen werden oberhalb bzw. unterhalb des Knies drehbar an den ersten zwei Schienen befestigt und an den gegenüberliegenden Endpunkten ebenfalls drehbar miteinander verbunden. Die Schienen an Ober- und Unterschenkel besitzen keine direkte Verbindung, so dass sich Ober- und Unterschenkel frei zueinander bewegen können.

[0014] In einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung können die erste und zweite Schiene im Überlappungsbereich lose miteinander verbunden sein. Unter einer „losen Verbindung“ wird erfindungsgemäß eine Verbindung verstanden, bei der die Bewegungsfreiheit der Schienen im Überlappungsbereich lateral vollständig erhalten bleibt, allerdings gewährleistet wird, dass die vier Schienen in einer Ebene positioniert bleiben.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind erste und dritte Schiene, zweite und vierte Schiene und/oder dritte und vierte Schiene jeweils über ein Gelenk miteinander verbunden. Die Verbindung zwischen erster und zweiter Schiene wird durch den Überlappungsbereich gebildet, hier wird bewusst auf eine feste Verbindung verzichtet, um die natürliche Kniemechanik nicht zu beeinflussen. Erfindungsgemäß geeignete Gelenke sind alle Gelenke, die in einer Ebene drehbar und ansonsten positionsfest sind. In der Vorrichtung sind die Gelenke derart angeordnet, dass die Schienen entlang ihrer Längsachsen gegeneinander verdreht werden können und im Wesentlichen planar in einer Ebene angeordnet sind.

[0016] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die Gelenke entlang der Längsachse der Schienen verschiebbar angeordnet. Dadurch kann die erfindungsgemäße Messvorrichtung auf verschiedene Beinlängen angepasst werden. Vorzugsweise sind die Gelenke im ersten und dritten Drittel der dritten und vierten Schienen, besonders bevorzugt an den Enden der dritten und vierten Schienen angeordnet. Weiterhin bevorzugt sind die Gelenke im zweiten Drittel der ersten und zweiten Schienen, besonders bevorzugt auf der Hälfte der ersten und zweiten Schienen angeordnet. Die Befestigung der Gelenke auf den Schienen ist derart ausgelegt, dass die Position der Gelenke auf den Schienen während einer Messung fixiert ist. Somit ist die Länge der dritten und vierten Schiene, d. h. der dritten und vierten Seite des aufgespannten Vierecks, nach der Einstellung konstant, während die Längen der ersten und zweiten Schiene, d. h. der ersten und zweiten Seite des aufgespannten Vierecks variabel bleiben und der Kniebewegung nachgeben.

[0017] Mit abnehmender Länge der dritten Schiene/vierten Schiene, d. h. abnehmender Größe des Vierecks, steigt die Messgenauigkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung, daher sind kleine Schienenlängen der dritten Schiene und vierten Schiene erfindungsgemäß bevorzugt. Weiterhin werden große Schienenlängen der ersten und zweiten Schiene bevorzugt, da mit zunehmender Länge der ersten und zweiten Schiene die relative Bewegung der Schiene zum Bein besser kontrolliert werden kann. Vorzugsweise weist die erste Schiene und/oder die zweite Schiene eine Ausdehnung in Längsrichtung im Bereich von 10 bis 60 cm, vorzugsweise im Bereich von 15 bis 45, weiter bevorzugt im Bereich von 20 bis 35 cm auf. Besonders bevorzugt sind erste und zweite Schiene gleich lang. Eine bevorzugte Ausdehnung der dritten und/oder vierten Schiene in Längsrichtung liegt im Bereich von 5 bis 40 cm, vorzugsweise im Bereich von 7 bis 30, weiter bevorzugt im Bereich von 10 bis 15 cm. In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind dritte und vierte Schiene gleich lang.

[0018] Die Schienen können aus jedem beliebigen Material hergestellt werden, das eine derartige Steifigkeit aufweist, dass eine Verbiegung der Schienen oder eine Torsion der Vorrichtung während der Messung verhindert wird. Gleichzeitig muss die Masse der Vorrichtung möglichst gering sein, um die durch die Massenträgheit hervorgerufene relative Bewegung der Vorrichtung am Bein zu minimieren. Geeignete Materialien für die Schienen sind beispielsweise Stähle, verstärkte, vorzugsweise glasfaserverstärkte, oder unverstärkte Kunststoffe, wie beispielsweise Polystyrol, Polypropylen, Polyurethan, Polyoxymethylen, Polymethylmetacrylat, Polyethylenterephthalat, Polybutylenterephthalat, Polyethersulfon, Polycarbonat, Polyamid oder Polyesterharze. Die Schienen können entweder direkt oder über eine Unterfütterung auf dem zu untersuchenden Bein befestigt werden. Geeignete Unterfütterungen bestehen vorzugsweise aus Schaumstoffen, wie z. B. Polyurethan oder Styropor, und ermöglichen eine weitgehend schmerzfreie anatomische Anpassung der Schienen an die Körperform. Vorzugsweise weisen die Schienen weiterhin Befestigungselemente auf, mit denen die Schienen am Ober- bzw. Unterschenkel befestigt werden können. Die Befestigung muss derart gewählt werden, dass die Vorrichtung auch unter Einfluss von Bewegung und Belastung einen dauerhaft korrekten Sitz aufweist und es zu keiner Verschiebung der Vorrichtung am Bein kommt. Geeignete Befestigungselemente sind beispielsweise spannbare Klettverschluss- oder unelastische Klebebänder. Alternativ könnten die Schienen auch in eine orthesenähnliche Vorrichtung eingearbeitet werden. Dabei muss die Beweglichkeit der ersten und zweiten Schiene im Überlappungsbereich, sowie in den drei drehbaren Gelenken vollständig erhalten bleiben. Durch eine zusätzliche Ummantelung der Messapparaturen können zudem der Patient vor Verletzungen und die Messinstrumente vor Beschädigungen geschützt werden.

[0019] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weisen die erste und zweite Schiene an ihren ersten Enden jeweils eine Positionsmarkierung auf. Dabei handelt es sich vorzugsweise um eine Millimeterskala, auf der die Längenveränderung der ersten bzw. zweiten Schiene während der durchgeführten Bewegungen direkt abgelesen werden kann. Alternativ werden als Positionsmarkierungen Sensoren, vorzugsweise Linearpotentiometer, oder optische Sensoren verwendet.

[0020] In der erfindungsgemäßen Vorrichtung spannen die erste und dritte Schiene einen Winkel, die zweite und vierte Schiene einen Winkel, die dritte und vierte Schiene einen Winkel und die erste und zweite Schiene einen Winkel auf, wobei die Winkelsumme aller Innenwinkel 360° beträgt. Vorzugsweise sind die Winkel zwischen der ersten und dritten Schiene und die Winkel zwischen der zweiten und vierten Schiene gleich groß. In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind die Winkel zwischen der ersten und zweiten und der dritten und vierten Schiene gleich groß. Erfindungsgemäß wird die Kombination aus den entstehenden Längen und den Winkeln so gewählt, dass der geometrische Kniewinkel von 0° (Ober und Unterschenkel liegen parallel aufeinander) bis 200° (deutlich überstrecktes Knie), vorzugsweise von 45° bis 180° variieren und gemessen werden kann. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung liegt der Winkel zwischen erster und dritter Schiene und vorzugsweise auch zwischen zweiter und vierter Schiene im leicht gebeugten Zustand des Beines im Bereich von 0° bis 90° , vorzugsweise im Bereich von 0° bis 60° , weiter bevorzugt im Bereich von 0° bis 30° . Unter einem leicht gebeugten Bein wird erfindungsgemäß ein Kniebeugewinkel von 20° bis 40° , vorzugs-

weise von ca. 30°, d. h. ein geometrischer Kniewinkel von 160 bis 180°, vorzugsweise von 150° verstanden. Der Winkel zwischen dritter und vierter Schiene liegt im leicht gebeugten Zustand des Beines vorzugsweise im Bereich von 90 bis 180°, vorzugsweise im Bereich von 120 bis 180°, weiter bevorzugt im Bereich von 150 bis 180°. Bei einem Kniebeugewinkel um die 30° ist die anteriore Tibiaverschiebung am größten, so dass in dieser Position die größtmögliche Messgenauigkeit gewährleistet ist.

[0021] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist das Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung Mittel zur Messung der Winkel in den drei Gelenken auf, so dass die relative Verschiebung indirekt bestimmt wird. Das bedeutet, dass vorzugsweise in jedem der drei Gelenk-Drehpunkte ein Winkelmesser angebracht ist, der den Winkel zwischen den jeweiligen Schienen misst. Geeignete Winkelmesser sind dem Fachmann bekannt. Beispielsweise können Drehpotentiometer oder optische Absolutwertgeber eingesetzt werden. Da alle gemessenen Winkel theoretisch Werte zwischen 0 und 200° annehmen können, müssen die eingesetzten Winkelmesser einen Drehwinkel von mindestens 200° aufweisen. Um möglichst genaue Messwerte zu erzielen, weisen die eingesetzten Winkelmesser einen größeren Drehwinkel auf, so dass die Winkelmessung nicht in den Randbereichen der Winkelmesser erfolgt.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung Mittel zur Berechnung der Tibiaverschiebung aus den gemessenen Winkeln auf. Durch die drei Winkel und die zwei bekannten Seitenlängen der dritten und vierten Schiene ist das aufgespannte Viereck der erfindungsgemäßen Vorrichtung eindeutig definiert. Somit können anhand der gemessenen Größen der Kniegelenkwinkel und die Tibiaverschiebung ermittelt werden. Vorzugsweise handelt es sich bei dem Mittel zur Berechnung der Tibiaverschiebung aus den gemessenen Winkeln um eine Datenverarbeitungs- und/oder Auswerteeinheit, vorzugsweise um einen einfachen Mikrokontroller oder einen PC. Bei Überschreiten vorher definierter, patientenbezogener Grenzwerte kann die Auswerteeinheit einen akustischen und/oder optischen Alarm auslösen. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Datenverarbeitungs- und/oder Auswerteeinheit kabellos mit den Winkelmessern verbunden.

[0023] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Bestimmung der Tibiaverschiebung. Dabei kommt vorzugsweise die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Einsatz. Das Verfahren zur Bestimmung der Tibiaverschiebung umfasst die Schritte

- Konstruieren eines Vierecks, wobei der Kniewinkel eine Ecke des Vierecks darstellt, und je eine Seite des Vierecks im Wesentlichen parallel zum Ober- bzw. Unterschenkel verläuft und seitlich an diesem angeordnet ist,
- Bestimmen der Innenwinkel der drei Ecken des konstruierten Vierecks, die nicht der Kniewinkel sind,
- Bestimmen der Länge der Seiten, die nicht am Ober- bzw. Unterschenkel angeordnet sind und
- Errechnen des Kniewinkels und der Tibiaverschiebung aus den ermittelten Winkeln und Längen mittels trigonometrischer Funktionen.

[0024] Zur Konstruktion des Vierecks und Bestimmung der Innenwinkel wird vorzugsweise die erfindungsgemäße Vorrichtung verwendet. Dazu werden zunächst die Längen der dritten und vierten Schiene bestimmt. Diese sind während der Messung konstant und müssen nur einmalig bestimmt werden. Die drei Winkel zwischen der ersten und dritten (φ_1), der dritten und vierten (φ_2) und der zweiten und vierten Schiene (φ_3) hängen vom Beugungswinkel und dem Belastungszustand des Knies ab. Diese Größen sind daher zeitveränderlich und müssen periodisch gemessen werden.

[0025] Der Kniewinkel (φ_4) kann aus den drei gemessenen Winkeln über die Summe der Innenwinkel eines Vierecks bestimmt werden:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 = 360^\circ$$

$$\varphi_4 = 360^\circ - (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)$$

Gleichung 1

[0026] Die Berechnung der Tibiaverschiebung ΔY lässt sich aus der Verschiebung des Oberschenkel Δs_{ober} und dem Winkel φ_4 über den Sinussatz für ein rechtwinkliges Dreieck ermitteln, da die Tibiaverschiebung senkrecht zum Schienbein gemessen wird. Fig. 2 zeigt die geometrischen Zusammenhänge.

$$\cos(\varphi_4 - 90^\circ) = \frac{\Delta Y}{\Delta s_{\text{ober}}}$$

$$\cos(\varphi_4 - 90^\circ) = \sin \varphi_4$$

$$\Delta Y = \sin \varphi_4 * \Delta s_{\text{ober}}$$

Gleichung 2

[0027] Zur Bestimmung der Oberschenkelverschiebung Δs_{ober} wird eine normierte Oberschenkelänge \hat{s}_{ober} festgelegt und die Länge des Oberschenkels s_{ober} als Funktion der drei Winkel φ_1 , φ_2 und φ_3 bestimmt. Die Differenz aus s_{ober} und \hat{s}_{ober} ergibt dann die Tibiaverschiebung Δs_{ober} .

$$\Delta s_{\text{ober}} = s_{\text{ober}} - \hat{s}_{\text{ober}}$$

Gleichung 3

[0028] Für die Oberschenkelänge s_{ober} wird die Länge der Diagonalen c benötigt, wobei c die Winkel φ_1 und φ_3 teilt. Der Winkel zwischen c und der vierten Schiene wird mit φ_3' und der Winkel zwischen c und der zweiten Schiene wird mit φ_3'' bezeichnet. Die Differenz Δs_{ober} kann dann über den Sinussatz für das Dreieck D1 (dritte Schiene, vierte Schiene und Diagonale c) berechnet werden.

$$\frac{s_{\text{ober}}}{\sin \varphi_3''} = \frac{c}{\sin \varphi_4}$$

$$s_{\text{ober}} = \frac{\sin \varphi_3''}{\sin \varphi_4} * c$$

Gleichung 4

[0029] Aus den Gleichung 2 bis 4 ergibt sich für die Tibiaverschiebung ΔY folgende Formel:

$$\Delta Y = \sin \varphi_3'' * c - \sin \varphi_4 * \hat{s}_{\text{ober}}$$

Gleichung 5

[0030] Die Länge c wird mittels des Kosinussatzes für das Dreieck D1 bestimmt.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \varphi_2$$

Gleichung 6

[0031] Die Summe der Halbwinkel φ_3' und φ_3'' ist gleich dem Winkel φ_3 . Die Größe φ_3' kann über den Sinussatz im Dreieck D1 ermittelt und somit der Winkel φ_3'' abgeleitet werden.

$$\frac{a}{\sin \varphi_3'} = \frac{c}{\sin \varphi_2}$$

$$\varphi_3 = \varphi_3' + \varphi_3''$$

$$\varphi_3'' = \varphi_3 - \arcsin\left(\frac{a}{c} \cdot \sin \varphi_2\right)$$

Gleichung 7

[0032] Zur Konstruierung des Vierecks und Bestimmung der Innenwinkel und der Seitenlängen wird vorzugsweise eine erfindungsgemäße Vorrichtung verwendet. Alternativ können diese Daten auch mit jeder anderen Methode bestimmt werden.

[0033] Das Errechnen der Tibiaverschiebung und des Kniewinkels erfolgt vorzugsweise automatisiert und computerunterstützt.

[0034] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Diagnoseverfahren zur Bestimmung des Zustands des vorderen Kreuzbandes umfassend die Schritte Anlegen einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung der Tibiaverschiebung am stehenden Säugetier, Anpassen der Vorrichtung an die Größenverhältnisse des Säugetiers, wobei die erste Schiene an der Außenseite des Oberschenkels und die zweite Schiene an der Außenseite des Unterschenkels derart positioniert wird, dass sich der Überlappungsbereich in der Höhe des Kniegelenkes befindet, Bestimmen der Länge der dritten und vierten Schiene nach der Anpassung, Bewegung des Knies und kontinuierliche Aufnahme der Innenwinkel während der Bewegung, Errechnen der Tibiaverschiebung an Hand der ermittelten Winkel für jeden Bewegungszustand und Bestimmen des Zustands des vorderen Kreuzbandes aus der errechneten Tibiaverschiebung. Vorzugsweise wird das Diagnoseverfahren am Menschen durchgeführt. Die Bewegung des Knies kann im entlasteten und belasteten Zustand erfolgen. Dabei sind sowohl Aufwärts- und/oder Abwärtsbewegungen auf der Stelle als auch in Kombination mit Vorwärts-, Rückwärts-

und/oder Seitwärtsbewegungen, wie Gehen, Laufen oder Springen während der Messung umfasst. Da das Knie unter mechanischen Gesichtspunkten betrachtet kein einachsiges Gelenk ist, muss anfänglich eine Kalibrierung durchgeführt werden. In der Kalibrierungsphase führt der Patient mehrmals eine Kniebeugung und -streckung aus. Diese als Fahrkurve bezeichnete Bewegung wird aufgenommen und abgespeichert. Bezüglich dieser Normkurve kann die Auswerteeinheit Abweichungen feststellen und korrigieren.

[0035] In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird die Tibiaverschiebung mittels einer Positionsbestimmung von zweidimensionalen Koordinaten mittels optischer Sensoren ermittelt. Die Erfindung betrifft daher weiterhin eine Vorrichtung zur Messung der Tibiaverschiebung aufweisend

- eine erste Schiene mit einem ersten Ende und einem zweiten Ende, die geeignet ist, am Oberschenkel eines Säugetiers befestigt zu werden, wobei die Befestigung derart erfolgt, dass die erste Schiene im Wesentlichen parallel zum Oberschenkelknochen in Relation zu diesem fixiert ist,
- eine zweite Schiene mit einem ersten Ende und einem zweiten Ende, die geeignet ist, am Unterschenkel eines Säugetiers befestigt zu werden, wobei die Befestigung derart erfolgt, dass die zweite Schiene im Wesentlichen parallel zum Unterschenkelknochen in Relation zu diesem fixiert ist, wobei erste und zweite Schiene derart angeordnet sind, dass die ersten Enden einen Überlappungsbereich ausbilden,
- mindestens jeweils zwei Positionsmarkierungen auf der ersten und zweiten Schiene im Überlappungsbereich und
- ein Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung der ersten und zweiten Schiene im Überlappungsbereich.

[0036] Bei dieser Ausführungsform der Erfindung wird also längs des Unterschenkels an einer Seite eine zweite Schiene angebracht, deren erstes Ende direkt über dem Kniedrehpunkt positioniert ist, wobei das erste Ende der zweiten Schiene als Abtastfläche dient. Auf dem ersten Ende befinden sich mindestens zwei Positionsmarkierungen. Am Oberschenkel wird auf der gleichen Seite wie am Unterschenkel eine erste Schiene befestigt, in deren erstes Ende ebenfalls mindestens zwei Positionsmarkierungen integriert sind. Durch eine Koordinatenmessung mit den jeweils zwei Positionsmarkierungen als Bezugspunkten kann die Position der Achse der zweiten Schiene bezüglich der Position der ersten Schiene genau ermittelt werden. Anhand dieser Positionsbestimmung können der Kniewinkel und die Tibiaverschiebung berechnet werden. Zur Vereinfachung der Messung sind die mindestens jeweils zwei Positionsmarkierungen auf den ersten Enden der Schienen an einander gegenüberliegenden Stellen angeordnet, so dass die Achsenverschiebung aus einem gemeinsamen Koordinatensystem erfolgt.

[0037] Unter „Schiene“ soll erfindungsgemäß jeder gerade, räumlich ausgedehnte Körper verstanden werden, dessen Ausdehnung in eine Raumrichtung signifikant größer als in die anderen beiden Raumrichtungen ist. Bevorzugte Schienen sind zylindrische oder flache Stäbe. Während der Messung ist die erfindungsgemäße Vorrichtung derart zu orientieren, dass die Schienen auf einer Seite des zu untersuchenden Beines derart im Bereich des Ober- und Unterschenkels positioniert sind, dass der Überlappungsbereich im Bereich des Knies positioniert ist. Die an Ober- und Unterschenkel befestigten ersten und zweiten Schienen besitzen keine direkte Verbindung. In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind erste und zweite Schiene im Überlappungsbereich lose miteinander verbunden. Unter einer „losen Verbindung“ wird erfindungsgemäß eine Verbindung verstanden, bei der die Bewegungsfreiheit der Schienen im Überlappungsbereich lateral vollständig erhalten bleibt und nur in die dritte Dimension eingeschränkt ist. D. h. die beiden Schienen sind in einer Ebene gegeneinander verschiebbar.

[0038] Die Schienen werden derart am Ober- bzw. am Unterschenkel des zu untersuchenden Beines fest angebracht, dass die Schiene und der Schenkel den gleichen Richtungssinn besitzen, d. h. im Wesentlichen parallel sind. Unter „im Wesentlichen parallel“ soll im Rahmen der Erfindung verstanden werden, dass der Winkel zwischen der Achse des Oberschenkel- bzw. Unterschenkelknochens und der auf dem Ober- bzw. Unterschenkel fixierten Schiene kleiner als 15° , vorzugsweise kleiner als 10° , weiter bevorzugt kleiner als 5° und am meisten bevorzugt 0° ist.

[0039] Da mit zunehmender Länge der ersten und zweiten Schiene die relative Bewegung der Schiene zum Bein besser kontrolliert werden kann, steigt mit zunehmender Länge der Schienen die Messgenauigkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Große Schienlängen sind somit erfindungsgemäß bevorzugt. Insbesondere weist die erste Schiene und/oder die zweite Schiene eine Ausdehnung in Längsrichtung im Bereich von 10 bis 60 cm, vorzugsweise im Bereich von 15 bis 45, weiter bevorzugt im Bereich von 20 bis 35 cm auf. Besonders bevorzugt sind erste und zweite Schiene gleich lang. In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die ersten Enden der ersten und/oder zweiten Schiene zu Flächen erweitert. Vorzugsweise bilden die Flächen den vollständigen Überlappungsbereich aus. Die Flächen können jede beliebige Form annehmen,

wie beispielsweise rund, elliptisch oder vieleckig. Vorzugsweise weisen erste und zweite Schiene die gleiche Flächenform als Erweiterung des ersten Endes auf. Besonders bevorzugt ist die Erweiterung des ersten Endes eine kreisförmige Fläche. Ein bevorzugter Durchmesser der kreisförmigen Fläche liegt im Bereich von 5 bis 30 cm, vorzugsweise von 5 bis 25 cm, besonders bevorzugt im Bereich von 10 bis 20 cm.

[0040] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weisen die jeweils zwei Positionsmarkierungen zueinander einen Abstand auf. Um die Messgenauigkeit zu erhöhen wird der Abstand zwischen den Positionsmarkierungen möglichst groß gewählt. Geeignete Abstände liegen im Bereich von 0,5 bis 15 cm, vorzugsweise im Bereich von 5 bis 10 cm.

[0041] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung weisen die Positionsmarkierungen mindestens einen optischen Sensor auf. Besonders bevorzugt sind alle Positionsmarkierungen in einer der beiden Schienen optische Sensoren, während die andere der beiden Schienen als Abtastfläche dient. Dabei fungiert also die Abtastfläche quasi als eine Art Mauspad, wobei die andere Schiene mit den zwei optischen Sensoren die Abtastung durchführt. Alternativ können anstelle von optischen Sensoren drucksensitive Sensoren verwendet werden. Dabei fungiert dann die Abtastfläche quasi als eine Art Touchpad, wobei die andere Schiene mit den zwei drucksensitiven Sensoren die Abtastung durchführt. Jeder der beiden optischen oder drucksensitiven Sensoren kann seine eigene x- und y-Verschiebung messen. Die optischen oder drucksensitiven Sensoren sind dann mit dem Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung der ersten und zweiten Schiene im Überlappungsbereich verbunden und ermöglichen es so die Position des Oberschenkels bezüglich des Schienbeins zu ermitteln und damit den Kniewinkel und die Tibiaverschiebung zu berechnen.

[0042] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weisen die Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung mindestens ein Mittel zur Berechnung der Tibiaverschiebung aus der Verschiebung der mindestens jeweils zwei Positionsmarkierungen auf. Bei dem Mittel zur Berechnung der Tibiaverschiebung handelt es sich vorzugsweise um eine Datenverarbeitungs- und/oder Auswerteeinheit, vorzugsweise um einen einfachen Mikrocontroller oder einen PC. Bei Überschreiten vorher definierter, patientenbezogener Grenzwerte kann die Auswerteeinheit einen akustischen und/oder optischen Alarm auslösen. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Datenverarbeitungs- und/oder Auswerteeinheit kabellos mit den optischen oder drucksensitiven Sensoren verbunden.

[0043] Als optische oder drucksensitive Sensoren werden Sensoren verwendet, die den Ansprüchen an Präzision und Messgenauigkeit gerecht werden, die sowohl Translations-, als auch Rotationsbewegungen erfassen können und die vorzugsweise die Position bezüglich absoluter Orientierungspunkte angeben können. Geeignete optische oder drucksensitive Sensoren sind dem Fachmann bekannt.

[0044] Die Schienen können aus jedem beliebigen Material hergestellt werden, das eine derartige Steifigkeit aufweist, dass eine Verbiegung der Schienen oder eine Torsion der Vorrichtung während der Messung verhindert wird. Gleichzeitig muss die Masse der Vorrichtung möglichst gering sein, um die durch die Massenträgheit hervorgerufene relative Bewegung der Vorrichtung am Bein zu minimieren. Geeignete Materialien für die Schienen sind beispielsweise Stähle, verstärkte, vorzugsweise glasfaserverstärkte, oder unverstärkte Kunststoffe, wie beispielsweise Polystyrol, Polypropylen, Polyurethan, Polyoxymethylen, Polymethylmetacrylat, Polyethylenterephthalat, Polybutylenterephthalat, Polyethersulfon, Polycarbonat, Polyamid oder Polyesterharze oder Hartfasergewebe. Die Oberflächen der Schienen im Überlappungsbereich sind glatt ausgestaltet, um die optische oder drucksensitive Messung zu erleichtern. Alternativ können die Oberflächen im Überlappungsbereich auch mit einer zur optischen Messung geeigneten Beschichtung überzogen werden. Geeignete Beschichtungen sind dem Fachmann bekannt.

[0045] Die Schienen können entweder direkt oder über eine Unterfütterung auf dem zu untersuchenden Bein befestigt werden. Geeignete Unterfütterungen bestehen vorzugsweise aus Schaumstoffen, wie z. B. Polyurethan oder Styropor, und ermöglichen eine weitgehend schmerzfreie anatomische Anpassung der Schienen an die Körperform. Vorzugsweise weisen die Schienen weiterhin Befestigungselemente auf, mit denen die Schienen am Ober- bzw. Unterschenkel befestigt werden können. Die Befestigung muss derart gewählt werden, dass die Vorrichtung auch unter Einfluss von Bewegung und Belastung einen dauerhaft korrekten Sitz aufweist und es zu keiner Verschiebung der Vorrichtung am Bein kommt. Geeignete Befestigungselemente sind beispielsweise spannbare Klettverschluss oder unelastische Klebebänder. Alternativ könnten die Schienen auch in eine orthesenähnliche Vorrichtung eingearbeitet werden. Dabei muss die Beweglichkeit der ersten und zweiten Schiene im Überlappungsbereich vollständig erhalten bleiben. Durch eine zusätzliche Ummantelung der Messapparaturen könnten zudem der Patient vor Verletzungen und die Messinstrumente vor Beschädigungen geschützt werden.

[0046] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Bestimmung der Tibiaverschiebung, bei dem vorzugsweise die zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Einsatz kommt. Das Verfahren zur Bestimmung der Tibiaverschiebung umfasst die Schritte

- Positionieren einer zweiten Schiene, die an einem Ende eine Abtastfläche mit mindestens zwei Positionsmarkierungen enthält, längs auf einer Seite eines Unterschenkels, so dass die Abtastfläche direkt über dem Kniedrehpunkt positioniert ist,
- Positionieren einer ersten Schiene, die an einem Ende eine Detektorfläche mit mindestens zwei Positionsmarkierungen enthält, längs der gleichen Seite eines Oberschenkels, so dass die Detektorfläche direkt über der Abtastfläche positioniert ist, wobei die Positionsmarkierungen auf der Detektorfläche Sensoren sind,
- Bestimmen der Koordinaten der Positionsmarkierungen mittels der Sensoren der Detektorfläche
- Errechnen des Kniewinkels und der Tibiaverschiebung aus den ermittelten Koordinaten mittels trigonometrischer Funktionen.

[0047] Der zweite Ansatz zur Bestimmung der Tibiaverschiebung basiert somit auf einem Verfahren zur Positionsbestimmung von zweidimensionalen Koordinaten mittels optischer Sensoren. Durch die Koordinatenmessung mit zwei optischen Sensoren kann die Position der Sensorfläche bezüglich der Abtastfläche genau ermittelt werden. Anhand der ermittelten Positionen werden dann der Kniewinkel und die Tibiaverschiebung berechnet. Die geometrischen Zusammenhänge sind in [Fig. 4](#) dargestellt.

[0048] Als optische Sensoren werden zwei optische Mäuse eingesetzt, die sich in den Punkten S_1 und S_2 im Abstand d vom Mittelpunkt M_s der Sensorfläche befinden. Die Punkte S_1 und S_2 liegen auf einer Geraden, die durch M_s verläuft. Wird eine Maus verwendet, die, wenn sie bewegt wird, nur die relative Positionsänderung misst, wird die absolute Position der Sensorfläche separat bestimmt. Hierzu wird vorab eine Startposition festgelegt, die die Nulllage zwischen den beiden Flächen darstellt ([Fig. 3](#), links). In der Startposition kreuzen sich die obere und die untere Schiene direkt über dem Kniegelenk, so dass die Mittelpunkte der Abtast- (M_a) und der Sensorfläche (M_s) identisch sind. Die Positionsmarkierungen liegen mittig übereinander. Der Kniewinkel φ_4 wird auf einen Bezugswinkel $\hat{\varphi}_4$ der Größe 180° festgelegt. In der Startposition ist das zu untersuchende Bein also durchgestreckt ([Fig. 4](#)).

[0049] Jede Position der Sensorfläche wird durch die absoluten Koordinaten $\vec{S}_1: (x_{s1}, y_{s1})$ und $\vec{S}_2: (x_{s2}, y_{s2})$ gekennzeichnet. Die y-Achse des (x, y) -Koordinatensystems wird so definiert, dass sie denselben Richtungssinn wie die zweite Schiene am Unterschenkel hat. Als Koordinatenursprung wird der Mittelpunkt M_a auf der Abtastfläche gewählt. Durch diese Festlegungen werden die Formeln zur Berechnung der Tibiaverschiebung ΔY vorteilhafterweise deutlich vereinfacht. Grundsätzlich entspricht die Tibiaverschiebung ΔY dem Anteil vom Abstand Δm der zwei Mittelpunkte $\vec{M}_s: (x_{Ms}, y_{Ms})$ und $\vec{M}_a: (x_{Ma}, y_{Ma})$, der senkrecht zum Unterschenkel (us) steht. Da gemäß der jetzigen Definitionen \vec{M}_a die (x, y) -Koordinaten $(0, 0)$ besitzt und die x-Achse senkrecht zum Schienbein liegt, ist die Tibiaverschiebung ΔY gleich der x-Koordinate des Punktes \vec{M}_s .

$$\Delta Y = \Delta m_{\perp us} = \left| \vec{M}_s - \vec{M}_a \right|_{\perp us} = \sqrt{(x_{Ms} - x_{Ma})^2 + (y_{Ms} - y_{Ma})^2} \Big|_{\perp us}$$

$$\text{für } \vec{M}_a = \vec{0}, \vec{e}_x \perp \vec{e}_{us} : \Delta Y = x_{Ms} = \frac{x_{s1} - x_{s2}}{2} \quad \text{Gleichung 8}$$

[0050] Der Kniewinkel φ_4 setzt sich aus dem Bezugswinkel $\hat{\varphi}_4$ und dem Drehwinkel ω_4 zwischen Abtast- und Sensorfläche zusammen. Durch Beinbewegungen kann der Winkel ω_4 Werte zwischen 0° und 180° annehmen. ω_4 kann somit über den Kosinussatz für ein rechtwinkliges Dreieck bestimmt werden, da die Kosinusfunktion in diesem Bereich eineindeutig ist.

$$\varphi_4 = \hat{\varphi}_4 - \omega_4$$

$$\cos \omega_4 = \frac{x_{s2} - x_{s1}}{2d}$$

$$\varphi_4 = \hat{\varphi}_4 - \arccos \frac{x_{s2} - x_{s1}}{2d} \quad \text{Gleichung 9}$$

[0051] Die Koordinaten der Sensoren \vec{S}_1 und \vec{S}_2 werden nach jeder Positionsänderung auf Grundlage der vorherigen Koordinaten \vec{S}'_1 und \vec{S}'_2 und der Bewegungsdaten $\Delta\vec{S}_1$ und $\Delta\vec{S}_2$ der optischen Sensoren neu bestimmt. Da die Daten die Bewegung eines optischen Sensors relativ zur vorherigen Sensorposition charakterisieren, beziehen sich diese nicht auf das (x, y)-Koordinatensystem, sondern auf ein (a, b)-Koordinatensystem, das um den Winkel ω_4' in Bezug auf das (x, y)-System gedreht ist. ω_4' stellt hierbei den Drehwinkel in der vorherigen Position dar.

$$\vec{S}_1 = \vec{S}'_1 + \Delta\vec{S}_1 = (x'_{s1} \cdot \vec{e}_x + y'_{s1} \cdot \vec{e}_y) + (a_{s1} \cdot \vec{e}_a + b_{s1} \cdot \vec{e}_b)$$

$$\vec{S}_2 = \vec{S}'_2 + \Delta\vec{S}_2 = (x'_{s2} \cdot \vec{e}_x + y'_{s2} \cdot \vec{e}_y) + (a_{s2} \cdot \vec{e}_a + b_{s2} \cdot \vec{e}_b)$$

$$\vec{e}_a = \cos\omega_4' \cdot \vec{e}_x + \sin\omega_4' \cdot \vec{e}_y$$

$$\vec{e}_b = \cos(\omega_4' + 90^\circ) \cdot \vec{e}_x + \sin(\omega_4' + 90^\circ) \cdot \vec{e}_y = \vec{e}_y = -\sin\omega_4' \cdot \vec{e}_x + \cos\omega_4' \cdot \vec{e}_y$$

$$\vec{S}_1 = (x'_{s1} + a_{s1} \cdot \cos\omega_4' - b_{s1} \cdot \sin\omega_4') \cdot \vec{e}_x + (y'_{s1} + a_{s1} \cdot \sin\omega_4' + b_{s1} \cdot \cos\omega_4') \cdot \vec{e}_y \quad \text{Gleichung 10}$$

$$\vec{S}_2 = (x'_{s2} + a_{s2} \cdot \cos\omega_4' - b_{s2} \cdot \sin\omega_4') \cdot \vec{e}_x + (y'_{s2} + a_{s2} \cdot \sin\omega_4' + b_{s2} \cdot \cos\omega_4') \cdot \vec{e}_y \quad \text{Gleichung 11}$$

[0052] In der Startposition befinden sich die Sensorpunkte S_1 und S_2 auf der x-Achse des (x, y)-Koordinatensystems. Es gilt somit:

$$\vec{S}_1 = -d \cdot \vec{e}_x \quad \vec{S}_2 = d \cdot \vec{e}_x$$

$$\hat{\omega}_4 = 0^\circ$$

[0053] Die Messung der Bewegungsdaten $\Delta\vec{S}_1$ und $\Delta\vec{S}_2$ wird immer in der Startposition begonnen. Für die erste Berechnung werden deshalb anstelle der vorherigen Koordinaten die Startwerte eingesetzt:

$$\vec{S}_1 = (\hat{x}_{s1} + a_{s1} \cdot \cos\hat{\omega}_4 - b_{s1} \cdot \sin\hat{\omega}_4) \cdot \vec{e}_x + (\hat{y}_{s1} + a_{s1} \cdot \sin\hat{\omega}_4 + b_{s1} \cdot \cos\hat{\omega}_4) \cdot \vec{e}_y$$

$$\vec{S}_1 = (-d + a_{s1}) \cdot \vec{e}_x + b_{s1} \cdot \vec{e}_y$$

$$\vec{S}_2 = (\hat{x}_{s2} + a_{s2} \cdot \cos\hat{\omega}_4 - b_{s2} \cdot \sin\hat{\omega}_4) \cdot \vec{e}_x + (\hat{y}_{s2} + a_{s2} \cdot \sin\hat{\omega}_4 + b_{s2} \cdot \cos\hat{\omega}_4) \cdot \vec{e}_y$$

$$\vec{S}_2 = (d + a_{s2}) \cdot \vec{e}_x + b_{s2} \cdot \vec{e}_y$$

[0054] Mit den so erhaltenen Koordinaten können die Tibiaverschiebung und der Kniewinkel bestimmt werden.

[0055] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Diagnoseverfahren zur Bestimmung des Zustands des vorderen Kreuzbandes umfassend die Schritte Anlegen einer erfindungsgemäßen Vorrichtung der zweiten Ausführungsform zur Bestimmung der Tibiaverschiebung am stehenden Säugetier, Anpassen der Vorrichtung an die Größenverhältnisse des Säugetiers, wobei die erste Schiene an der Außenseite des Oberschenkels und die zweite Schiene an der Außenseite des Unterschenkels derart positioniert wird, dass sich der Überlappungsbereich in der Höhe des Kniegelenkes, d. h. neben dem Kniegelenk, befindet und die Positionsmarkierungen auf der ersten und zweiten Schiene exakt übereinander liegen, Bewegung des Knies und kontinuierliche Aufnahme der Positionsverschiebung der Positionsmarkierungen während der Bewegung, Errechnen der Tibiaverschiebung an Hand der ermittelten Positionsverschiebungen für jeden Bewegungszustand und Bestimmen des Zustands des vorderen Kreuzbandes aus der errechneten Tibiaverschiebung. Vorzugsweise wird das Diagnoseverfahren am Menschen durchgeführt. Die Bewegung des Knies kann im entlasteten und belasteten Zustand erfolgen. Dabei sind sowohl Aufwärts- und/oder Abwärtsbewegungen auf der Stelle als auch in Kombination mit Vorwärts-, Rückwärts- und/oder Seitwärtsbewegungen, wie Gehen, Laufen und/oder Springen während der Messung umfasst. Da das Knie unter mechanischen Gesichtspunkten betrachtet kein einachsiges Gelenk ist, muss anfänglich eine Kalibrierung durchgeführt werden. In der Kalibrierungsphase führt der Patient mehrmals eine Kniebeugung und -streckung aus. Diese als Fahrkurve bezeichnete Bewegung wird aufgenommen und abgespeichert. Bezüglich dieser Normkurve kann die Auswerteeinheit Abweichungen feststellen.

[0056] Sowohl der Kniewinkel als auch die zugehörige Tibiaverschiebung können mit den erfindungsgemäßen Vorrichtungen und den beschriebenen Verfahren korrekt bestimmt werden. Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen und Verfahren weisen eine Reihe von Vorzügen auf. Insbesondere lässt sich das Gerät mobil einsetzen und kann vom Träger oder Patienten im täglichen Leben, einschließlich bei sportlicher Betätigung getragen werden. Dies ermöglicht dem Träger eine höhere Lebensqualität und eröffnet völlig neue Diagnose- und Therapiemöglichkeiten. Die Messung der Tibiaverschiebung in der Bewegung kann beispielsweise zur genauen Analyse der Beanspruchung des Kniegelenks im Rehabilitationsverlauf eingesetzt werden. Dadurch wird es möglich die Belastung des Knies während der Rehabilitation individuell zu dosieren, um die Rehabilitationszeiten zu verkürzen, ohne den Erfolg der Operation zu gefährden. Da die erfindungsgemäßen Vorrichtungen seitlich des Beines angebracht werden, können die Vorrichtungen auch während eines operativen Eingriffs angelegt werden. Vorteilhafterweise kann dadurch die geeignete Länge einer Kreuzbandplastik bereits auf dem OP-Tisch angepasst und überprüft werden.

[0057] Die Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtungen ist am Beispiel des Kniegelenkes beschrieben worden. Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen können selbstverständlich auch an allen anderen Gelenken eingesetzt werden, bei denen der Zustand des Bandapparates durch eine Verschiebung der anliegenden Knochen bestimmbar ist. Geeignete Gelenke sind beispielsweise Fuß-, Hüft-, Schulter-, Ellenbogen-, Hand-, Finger- oder Zehengelenke.

[0058] Zudem ist es mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung auch möglich die Verdrehung des Gelenkes in Längsrichtung, als Maß der Abweichung der Vorrichtung von der Messebene zu bestimmen.

[0059] Im Folgenden soll die Anmeldung an Hand von Ausführungsbeispielen und Figuren näher erläutert werden. Es zeigen:

[0060] Fig. 1 einen schematischen Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer ersten Ausführungsform

[0061] Fig. 2 den geometrischen Zusammenhang zur Bestimmung der Tibiaverschiebung bei der Ausführungsform nach Fig. 1

[0062] Fig. 3 einen schematischen Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer zweiten Ausführungsform

[0063] Fig. 4 den geometrischen Zusammenhang zur Bestimmung der Tibiaverschiebung bei der Ausführungsform nach Fig. 3

[0064] Fig. 5 die durchschnittliche Tibiaverschiebung $\overline{\Delta Y}$ als Funktion des Kniewinkels ϕ_4 gemessen mit einer Vorrichtung nach Fig. 1

[0065] Fig. 6 die Variationsspanne der Tibiaverschiebung $\overline{\Delta Y}$ als Funktion des Kniewinkels ϕ_4 gemessen mit einer Vorrichtung nach Fig. 1.

[0066] Fig. 1 zeigt eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung der Tibiaverschiebung. Die Vorrichtung stellt ein Viereck dar, das aus vier Schienen, nämlich einer ersten Schiene **10**, einer zweiten Schiene **20**, einer dritten Schiene **30** und einer vierten Schiene **40**, zusammengesetzt wird. An der ersten Schiene **10** ist die dritte Schiene **30** drehbar befestigt. Die dritte Schiene **30** ist mit ihrem zweiten Ende **34** auf der Hälfte der ersten Schiene **10** montiert. Ein Gelenk **50** stellt die drehbare Verbindung zwischen der ersten Schiene **10** und der dritten Schiene **30** dar. Durch die Schienen **10**, **30** wird eine Ebene definiert. Das Gelenk **50** ist in der durch die Schienen **10**, **30** definierten Ebene drehbar, aber ansonsten starr. Am ersten Ende **32** der dritten Schiene **30** ist ein erstes Ende **42** der vierten Schiene **40** drehbar über ein Gelenk **52** befestigt. Die Drehebene des Gelenkes **52** entspricht der Drehebene des Gelenkes **50**, so dass die vierte Schiene **40** ebenfalls in der von der ersten Schiene **10** und der dritten Schiene **30** definierten Ebene liegt. An einem zweiten Ende **44** der vierten Schiene **40** ist die zweite Schiene **20** drehbar über ein Gelenk **54** befestigt. Die Drehebene des Gelenkes **54** entspricht der Drehebene der Gelenke **50** und **52**, so dass die zweite Schiene **20** ebenfalls in der von der ersten Schiene **10**, der dritten Schiene **30** und der vierten Schiene **40** definierten Ebene liegt. Das Gelenk **54** ist auf der zweiten Schiene **20** ungefähr auf der Hälfte angebracht. Drei Ecken des Vierecks werden durch die Gelenke **50**, **52**, **54** fixiert. Die vierte Ecke stellt einen Überlappungsbereich **16** dar, der aus der Überlappung des ersten Endes **12** der ersten Schiene **10** und des ersten Endes **22** der zweiten Schiene **20** gebildet wird. Im Überlappungsbereich **16** sind erste und zweite Schiene **10**, **20** nicht oder nur lose

miteinander verbunden, so dass sich die Schienen **10** und **20** frei in der Ebene bewegen können, die durch die Schienen **10**, **20**, **30**, **40** definiert wird. Die Länge der ersten Schiene **10** beträgt 32 cm, die Länge der zweiten Schiene **20** beträgt 25 cm und die Länge der dritten und vierten Schienen **30**, **40** beträgt jeweils 12 cm. Die Breite der Schienen beträgt 3 cm und die Stärke 0,2 cm. Die Schienen bestehen aus VA-Stahl.

[0067] Die erfindungsgemäße Vorrichtung wird für die Messung an der Außenseite eines Beines positioniert. Dabei liegt die erste Schiene **10** auf dem Oberschenkel **46** auf, wobei die Längsachse der Schiene **10** zum Oberschenkelknochen parallel ist. Das zweite Ende **14** der ersten Schiene **10** weist in Richtung der Hüfte. Die zweite Schiene **20** ist auf dem Unterschenkel **48** positioniert. Dabei liegt die zweite Schiene **20** derart auf dem Unterschenkel **48** auf, dass die Längsachse der Schiene **20** zum Unterschenkelknochen parallel ist. Das zweite Ende **24** der zweiten Schiene **20** weist in Richtung des Fußes. Der Überlappungsbereich **16** liegt direkt vor dem Knie. Der Kniewinkel wird von dem Innenwinkel ϕ_4 zwischen der ersten Schiene **10** und der zweiten Schiene **20** abgebildet.

[0068] An den drei Gelenken **50**, **52**, **54** sind in den Drehpunkten zwischen den Schienen Drehpotentiometer als Winkelmesser **26** eingebaut. In einer einfachsten Ausgestaltung stellen die Drehpotentiometer gleichzeitig die Gelenke **50**, **52**, **54** dar. Da die zu messenden Innenwinkel Werte im Bereich von 0 bis 180° annehmen können, müssen die Drehpotentiometer einen Drehwinkel von mindestens 180° besitzen. Für die erfindungsgemäße Vorrichtung eignen sich lineare Drehpotentiometer mit einem maximalen Drehwinkel ω_{\max} von 270°. Die zu messenden Innenwinkel werden mit ϕ_1 , ϕ_2 und ϕ_3 bezeichnet, wobei mit ϕ_1 der Innenwinkel zwischen der ersten Schiene **10** und der dritten Schiene **30**, mit ϕ_2 der Innenwinkel zwischen der dritten Schiene **30** und der vierten Schiene **40** und mit ϕ_3 der Innenwinkel zwischen der vierten Schiene **40** und der dritten Schiene **30** bezeichnet wird. Damit ϕ_1 , ϕ_2 und ϕ_3 mit einer möglichst hohen Genauigkeit gemessen werden, werden die Potentiometer so eingesetzt, dass für jeden Gelenkwinkel ϕ_i ($i = 1, 2, 3$) der Größe 90° der entsprechende Drehwinkel ω_i 135° beträgt. Dadurch wird eine Messung in den Randbereichen der Widerstandsbahn der Potentiometer vermieden. An die äußeren Kontakte der Drehpotentiometer wird eine Gleichspannung V_{dd} angelegt. Die Polung erfolgt hierbei derart, dass eine Vergrößerung des Drehwinkels ω_i auch die Spannung U_i am Schleifer erhöht. Als Schleifer wird der Kontakt, der den Spannungsteiler eines Potentiometers bildet und den Gesamt Widerstand R_{i-g} in zwei Teilwiderstände teilt bezeichnet. Auf Grundlage der Formeln für den elektrischen Widerstand und den Gesamt widerstand zweier in Reihe geschalteter Teilwiderstände können aus den Messwerten für die Teilspannungen U_1 , U_2 und U_3 die Winkel ϕ_1 , ϕ_2 und ϕ_3 berechnet werden. Aus den Winkeln ϕ_1 , ϕ_2 und ϕ_3 und den bekannten Längen der dritten Schiene **30** und vierten Schiene **40** können dann die Tibiaverschiebung und der Kniewinkel ϕ_4 gemäß den Gleichungen 1 bis 7 mit Hilfe eines Mittels zur Berechnung **28** berechnet werden. Bei dem Mittel **28** handelt es sich um eine Datenverarbeitungseinheit, vorzugsweise einen PC. Die Übertragung der Messdaten von den Winkelmessern **26** auf die Datenverarbeitungseinheit erfolgt kabellos. **Fig. 2** zeigt die geometrischen Zusammenhänge der Berechnung.

[0069] **Fig. 3** zeigt eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung der Tibiaverschiebung. Die zweite Ausführungsform basiert auf der zweidimensionalen Bestimmung von Koordinaten mittels optischer Sensoren. Die Vorrichtung weist eine erste Schiene **10** und eine zweite Schiene **20** auf. An ihren ersten Enden **12**, **22** sind die ersten Schiene **10** zu einer runden Fläche F_{12} und die zweite Schiene **20** zu einer runden Fläche F_{22} erweitert. Die Flächen F_{12} und F_{22} weisen einen Durchmesser D von 15 cm auf und bilden den Überlappungsbereich **16**. Im Überlappungsbereich **16** sind erste und zweite Schiene **10**, **20** nicht oder nur lose miteinander verbunden, so dass sich die Schienen **10** und **20** lateral frei bewegen können. Die Länge der ersten Schiene **10** und der zweiten Schiene **20** beträgt 37,5 cm. Die Breite der Schienen beträgt 5 cm und die Stärke 0,25 cm. Die Schienen bestehen aus Hartfaserplatten.

[0070] Die erfindungsgemäße Vorrichtung wird für die Messung an der Außenseite eines Beines positioniert. Dabei liegt die erste Schiene **10** seitlich am Oberschenkel **46** an, wobei die Längsachse der Schiene **10** zum Oberschenkelknochen parallel ist. Das zweite Ende **14** der ersten Schiene **10** weist in Richtung der Hüfte. Die zweite Schiene **20** ist am Unterschenkel **48** positioniert. Dabei liegt die zweite Schiene **20** derart am Unterschenkel **48** an, dass die Längsachse der Schiene **20** zum Unterschenkelknochen parallel ist. Das zweite Ende **24** der zweiten Schiene **20** weist in Richtung des Fußes. Der Überlappungsbereich **16** liegt direkt neben dem Knie, d. h. in Höhe der Kniescheibe. Der Kniewinkel wird von dem Innenwinkel ϕ_4 zwischen der ersten Schiene **10** und der zweiten Schiene **20** gebildet.

[0071] Auf den Flächen F_{12} und F_{22} befinden sich jeweils zwei Positionsmarkierungen M . Auf der ersten Schiene **10** sind die Positionsmarkierungen mit M_{10I} und M_{10II} und auf der zweiten Schiene **20** sind die Positionsmarkierungen mit M_{20I} und M_{20II} bezeichnet. Die Positionsmarkierungen M_{10I} und M_{10II} bzw. M_{20I} und M_{20II} weisen zueinander einen Abstand A auf. Der Abstand A beträgt 10 cm. Der Abstand A und die Position der

Positionsmarkierungen M_{10I} und M_{10II} sowie M_{20I} und M_{20II} sind auf den beiden Flächen F_{12} und F_{22} exakt an der gleichen Stelle. Dadurch liegen die Positionsmarkierungen in der Grundstellung genau übereinander (Fig. 3, links). Bei Bewegung des Knies und der daraus resultierenden Tibiaverschiebung bewegen sich die Flächen F_{12} und F_{22} unterschiedlich voneinander und die Position der Positionsmarkierungen M_{10I} und M_{10II} bzw. M_{20I} und M_{20II} weicht voneinander ab. Vorzugsweise sind die Positionsmarkierungen M_{10I} und M_{10II} als optische Sensoren 36 ausgestaltet. Aus der Verschiebung Δm der durch die Positionsmarkierungen M_{10I} und M_{10II} bzw. M_{20I} und M_{20II} gebildeten Achsen können dann die Tibiaverschiebung und der Kniewinkel ϕ_4 gemäß den Gleichungen 8 bis 11 mit Hilfe eines Mittels zur Berechnung 38 berechnet werden. Bei dem Mittel 38 handelt es sich um eine Datenverarbeitungseinheit, vorzugsweise einen PC. Die Übertragung der Messdaten von den optischen Sensoren 36 auf die Datenverarbeitungseinheit erfolgt kabellos. Fig. 4 zeigt die geometrischen Zusammenhänge der Berechnung.

Beispiel 1

[0072] Als funktioneller Test wurde ein Prototyp der erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß Fig. 1 am gesunden Bein eines Probanden angebracht und mehrere Messreihen aufgenommen. Während der Aufnahme einer Messreihe wurde eine bestimmte motorische Bewegung wiederholt ausgeführt. Es werden drei Bewegungsformen untersucht. Bei der ersten Messreihe soll die Belastung des Knies möglichst gering sein. Dazu beugt und streckt der Proband das Bein mit der Messeinrichtung in der Luft, während sein Gewicht nur auf dem zweiten Bein ruht. Kniebeugen aus der Hocke in den Stand stellen die zweite Bewegungsform dar. Hierbei tragen die Knie das volle Körpergewicht. Bei der dritten Messreihe wird eine stärkere Belastung durch Sprünge in die Höhe erzeugt. Die einzelnen Bewegungen üben unterschiedlich starke Belastungen auf das Knie aus, so dass die Messreihen entsprechend unterschiedliche Ergebnisse für die Tibiaverschiebung liefern.

[0073] Fig. 5 zeigt die durchschnittliche Tibiaverschiebung $\overline{\Delta Y}$ als Funktion des Kniewinkels ϕ_4 . Es ist eindeutig ersichtlich, dass die gemessene Tibiaverschiebung von den Belastungen auf das Knie abhängt. Die mittlere Tibiaverschiebung $\overline{\Delta Y}$ ist ohne die Einwirkung von äußeren Belastungen am geringsten. Während des gesamten Bewegungsvorgangs ändert sie sich über eine Spanne von etwa 4,5 mm. Dies ist auf die Abrollbewegung des Oberschenkelknochens auf dem Schienbein zurückzuführen. Bei Kniebeugen, die eine leichte Belastung erzeugen, ist $\overline{\Delta Y}$ um bis zu 4 mm größer, wobei die Differenz mit größer werdendem Kniewinkel ϕ_4 abnimmt. Bei den Sprüngen treten stärkere Belastungen im Moment des Abdrückens und beim Wiederaufkommen auf. Der Verlauf des dritten Graphen weist dementsprechend zwischen 100° und 140° eine verstärkte Verschiebung auf, die bis zu 15 mm betragen kann. Alle Messreihen zeigen im Bereich von 95° ein lokales Minimum, steigen mit wachsendem Kniewinkel an und fallen wieder ab, wenn das Kniegelenk in den durchgestreckten Zustand übergeht. Dies ist auf die nicht einachsige Funktionsweise des Kniegelenks und die Tatsache zurückzuführen, dass alle Bewegungen nur in die vertikale und nicht in die horizontale Richtung (wie z. B. beim Gehen oder Laufen) erfolgten.

[0074] Fig. 6 zeigt die statistische Auswertung der Messergebnisse. An der Variationsspanne der Tibiaverschiebung $\overline{\Delta Y}$ als Funktion des Kniewinkels ϕ_4 ist zu erkennen, dass die Ergebnisse für die Tibiaverschiebung unterschiedlich variieren. Die ersten beiden Messreihen schwanken in einem relativ gleich bleibenden Bereich von unter 5 mm unabhängig vom Kniewinkel. Die Messung weist also eine hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit auf. Beim Springen hingegen treten größere Spannen bis über 35 mm auf. Die Ursache dafür liegt in den einzelnen Sprüngen, die in ihrer Ausführung, d. h. in ihrer Sprunghöhe und dem eingesetzten Kraftaufwand naturgemäß unterschiedlich ausfallen. Die Ergebnisse der Messungen belegen somit, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung und das Verfahren zur Bestimmung der Tibiaverschiebung geeignet sind, qualitativ verwertbare Resultate zu erzielen.

[0075] Der Kniewinkel konnte mit einer Genauigkeit von ca. einem Viertel Grad und die Tibiaverschiebung mit einer Exaktheit im Bereich von Hundertstel-Millimetern bestimmt werden. Zudem wurde der Proband durch das Gestell in seinem Bewegungsablauf nicht behindert, so dass erfindungsgemäß Messungen in der Bewegung durchgeführt werden können.

Bezugszeichenliste

10	erste Schiene
12, 22, 32, 42	erstes Ende
14, 24, 34, 44	zweites Ende
16	Überlappungsbereich
20	zweite Schiene

26	Mittel zur Winkelmessung
28, 38	Mittel zur Berechnung
30	dritte Schiene
36	optischer Sensor
40	vierte Schiene
46	Oberschenkel
48	Unterschenkel
50, 52, 54	Gelenk
A	Abstand
D	Durchmesser
F	Fläche
M	Positionsmarkierung
$\varphi 1, \varphi 2, \varphi 3, \varphi 4$	Winkel

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2008/040790 A1 [\[0005\]](#)
- WO 98/31274 [\[0006\]](#)

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Messung der Tibiaverschiebung aufweisend
 - eine erste Schiene (10) mit einem ersten Ende (12) und einem zweiten Ende (14), die geeignet ist, am Oberschenkel (46) eines Säugetiers befestigt zu werden, wobei die Befestigung derart erfolgt, dass die erste Schiene (10) im Wesentlichen parallel zum Oberschenkelknochen in Relation zu diesem fixiert ist,
 - eine zweite Schiene (20) mit einem ersten Ende (22) und einem zweiten Ende (24), die geeignet ist, am Unterschenkel (48) eines Säugetiers befestigt zu werden, wobei die Befestigung derart erfolgt, dass die zweite Schiene (20) im Wesentlichen parallel zum Unterschenkelknochen in Relation zu diesem fixiert ist, wobei erste und zweite Schiene (10, 20) derart angeordnet sind, dass die ersten Enden (12, 22) einen Überlappungsbereich (16) ausbilden,
 - eine dritte Schiene (30) aufweisend ein erstes Ende (32) und ein zweites Ende (34), wobei die dritte Schiene (30) mit dem zweiten Ende (34) drehbar an der ersten Schiene (10) befestigt ist,
 - eine vierte Schiene (40) aufweisend ein erstes Ende (42) und ein zweites Ende (44), wobei die vierte Schiene (40) mit dem zweiten Ende (44) drehbar an der zweiten Schiene (20) befestigt ist und wobei die dritte und vierte Schiene (30, 40) an ihren ersten Enden (32, 42) drehbar miteinander verbunden sind,
 - und ein Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung der ersten und zweiten Schiene (10, 20) im Überlappungsbereich (16).
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass erste und dritte Schiene (10, 30), zweite und vierte Schiene (20, 40) und/oder dritte und vierte Schiene (30, 40) über ein Gelenk (50, 52, 54) miteinander verbunden sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Gelenk (50, 52, 54) entlang der Längsachse der Schienen (10, 20, 30, 40) verschiebbar angeordnet ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und dritte Schiene (10, 30) einen Winkel (φ_1), die zweite und vierte Schiene (20, 40) einen Winkel (φ_3), die dritte und vierte Schiene (30, 40) einen Winkel (φ_2) und die erste und zweite Schiene (10, 20) einen Winkel (φ_4) aufspannen, wobei die Winkel (φ_1) und (φ_3) gleich groß sind und die Winkelsumme 360° beträgt.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schiene (10) und/oder zweite Schiene (20) eine Ausdehnung in Längsrichtung im Bereich von 10 bis 60 cm, vorzugsweise im Bereich von 15 bis 45, weiter bevorzugt im Bereich von 20 bis 35 cm aufweist.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Schiene (30) und/oder vierte Schiene (40) eine Ausdehnung in Längsrichtung im Bereich von 5 bis 40 cm, vorzugsweise im Bereich von 10 bis 30, weiter bevorzugt im Bereich von 12 bis 20 cm aufweist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung Mittel (26) zur Messung der Winkel (φ_1 , φ_2 , φ_3) aufweist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (26) zur Messung der Winkel (φ_1 , φ_2 , φ_3) Drehpotentiometer sind.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung Mittel (28) zur Berechnung der Tibiaverschiebung aus den gemessenen Winkeln (φ_1 , φ_2 , φ_3) aufweist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (28) eine Datenverarbeitungseinheit, vorzugsweise ein PC ist.
11. Vorrichtung zur Messung der Tibiaverschiebung aufweisend
 - eine erste Schiene (10) mit einem ersten Ende (12) und einem zweiten Ende (14), die geeignet ist, am Oberschenkel (46) eines Säugetiers befestigt zu werden, wobei die Befestigung derart erfolgt, dass die erste Schiene (10) im Wesentlichen parallel zum Oberschenkelknochen in Relation zu diesem fixiert ist,
 - eine zweite Schiene (20) mit einem ersten Ende (22) und einem zweiten Ende (24), die geeignet ist, am Unterschenkel (48) eines Säugetiers befestigt zu werden, wobei die Befestigung derart erfolgt, dass die zweite Schiene (20) im Wesentlichen parallel zum Unterschenkelknochen in Relation zu diesem fixiert ist, wobei erste

und zweite Schiene (**10, 20**) derart angeordnet sind, dass die ersten Enden (**12, 22**) einen Überlappungsbereich (**16**) ausbilden,

- mindestens jeweils zwei Positionsmarkierungen (M_I, M_{II}) auf der ersten und zweiten Schiene (**10, 20**) im Überlappungsbereich (**16**) und
- ein Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung der ersten und zweiten Schiene (**10, 20**) im Überlappungsbereich (**16**).

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Enden (**12, 22**) der ersten und/oder zweiten Schiene zu einer Fläche (F_{12}, F_{22}) erweitert sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens jeweils zwei Positionsmarkierungen (M_I, M_{II}) auf den Flächen (F_{12}, F_{22}) an einander gegenüberliegenden Stellen angeordnet sind.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionsmarkierungen mindestens einen optischen Sensor (**36**) aufweisen.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Bestimmung der relativen Verschiebung mindestens ein Mittel (**38**) zur Berechnung der Tibiaverschiebung aus der Verschiebung der mindestens jeweils zwei Positionsmarkierung (M_I, M_{II}) aufweisen.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (**38**) eine Datenverarbeitungseinheit, vorzugsweise ein PC ist.

17. Verfahren zur Bestimmung der Tibiaverschiebung, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16 verwendet wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

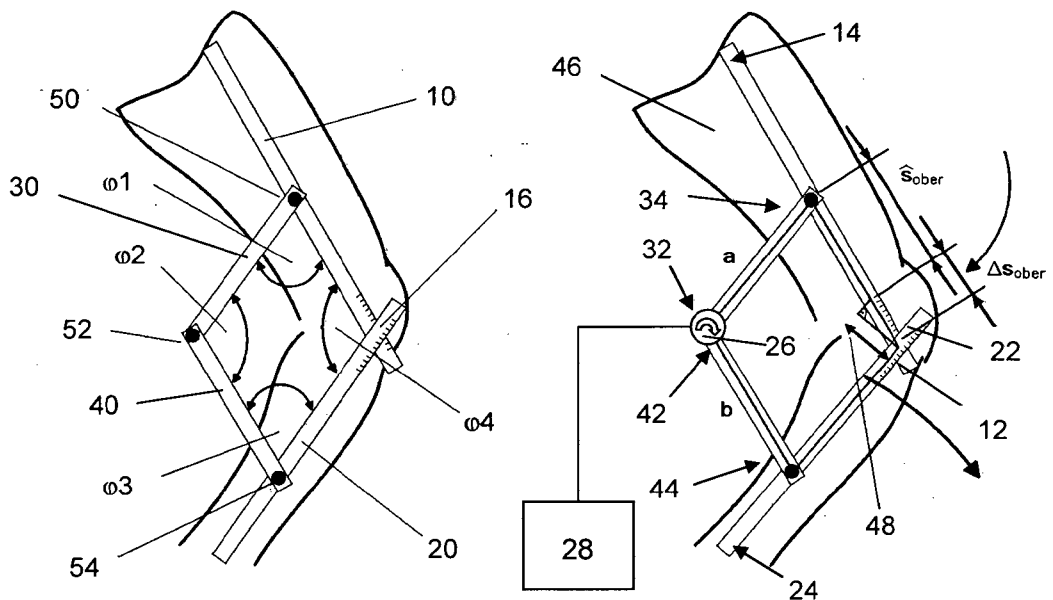


Fig. 1

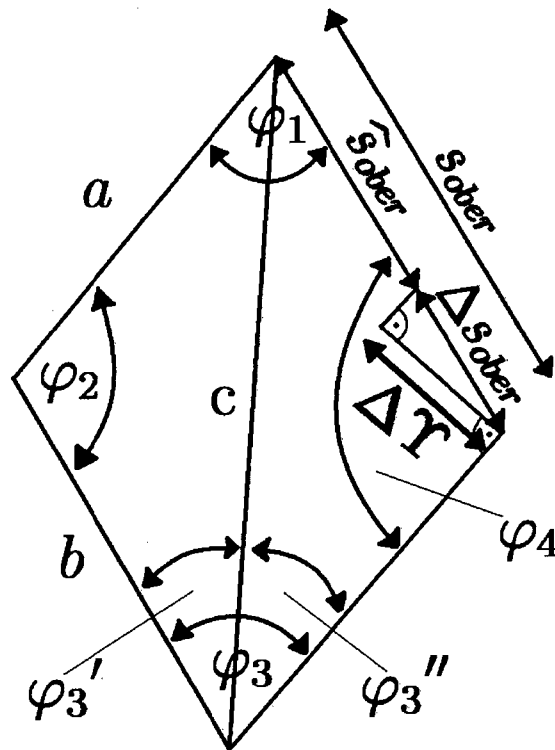


Fig. 2

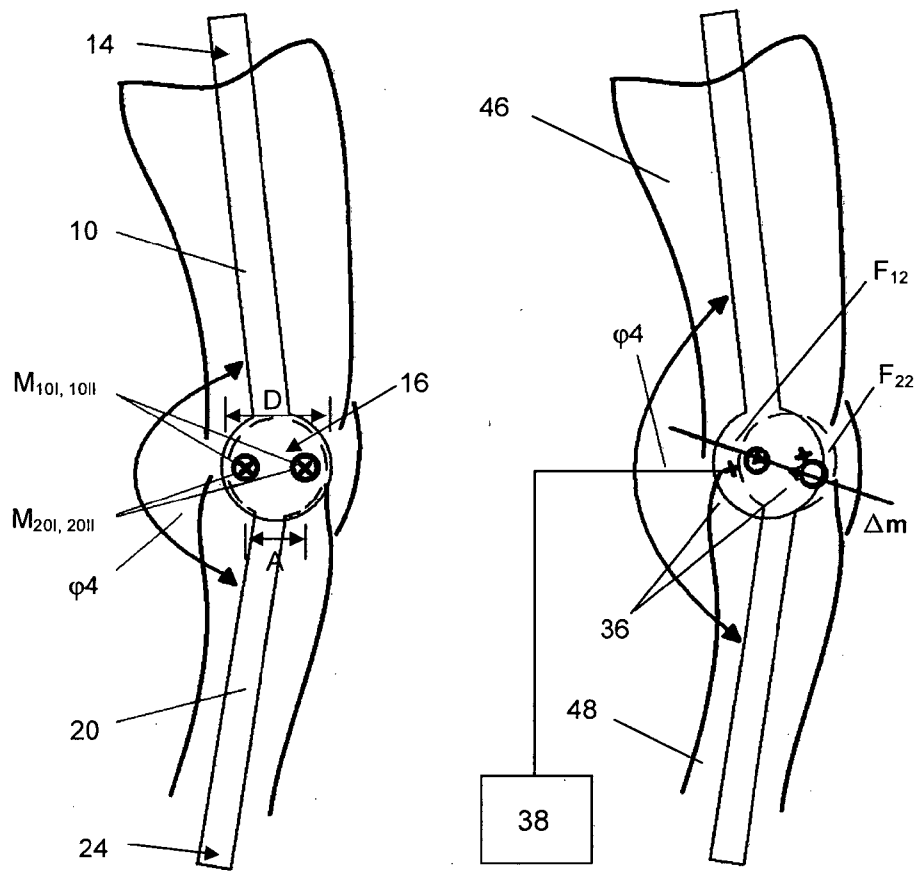


Fig. 3

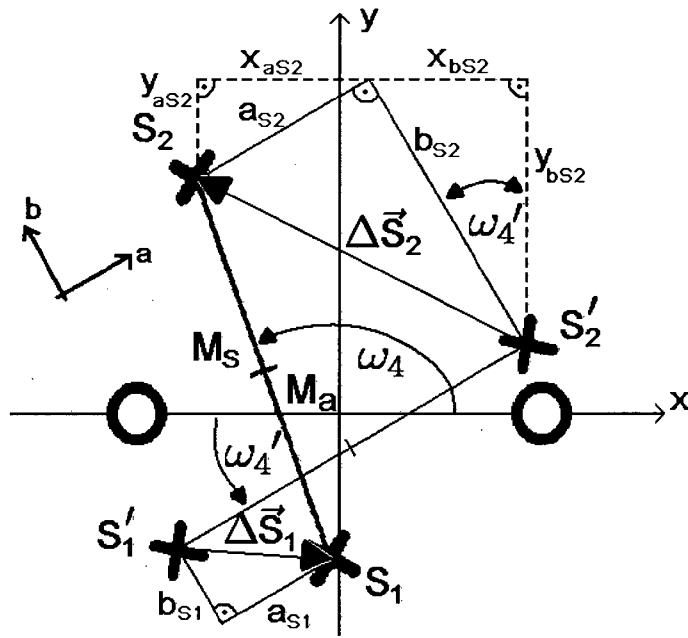


Fig. 4

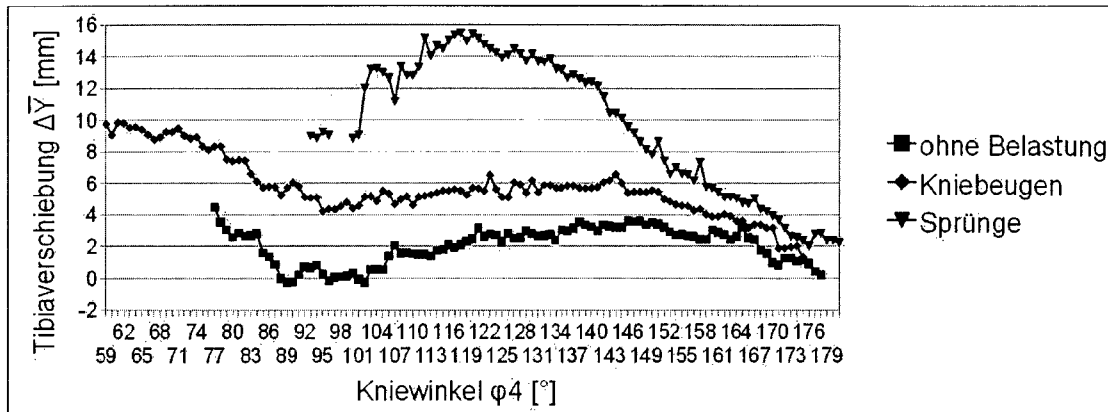


Fig. 5

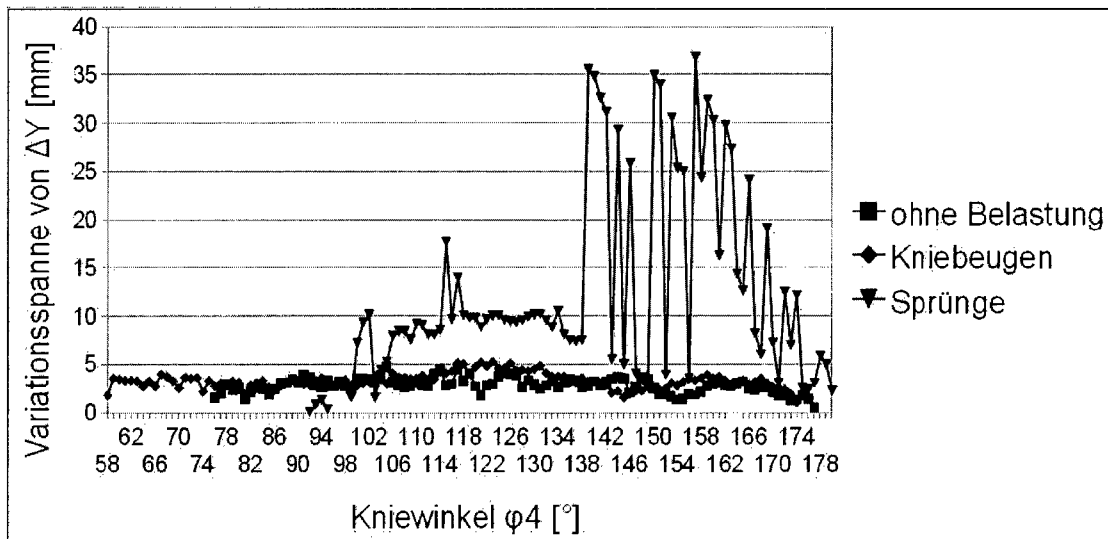


Fig. 6