



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2004 004 995 T2** 2007.11.22

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 552 793 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2004 004 995.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **04 290 028.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **07.01.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.07.2005**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **28.02.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.11.2007**

(51) Int Cl.⁸: **A61B 17/34** (2006.01)
A61B 19/00 (2006.01)

(73) Patentinhaber:
UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE, Paris, FR

(74) Vertreter:
**Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188
Stuttgart**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR**

(72) Erfinder:
**Morel, Guillaume, 77580 Maisoncelles en Brie, FR;
Zemiti, Nabil, 92260 Fontenay aux Roses, FR**

(54) Bezeichnung: **Trocar device for the passage of a surgical instrument**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Trokar für die Durchführung eines chirurgischen Instrumentes.

[0002] Die operatorische Laparoskopie besteht darin, chirurgische Eingriffe mit einem miniaturisierten chirurgischen Element durchzuführen, durch dessen geringen Durchmesser das Durchführen durch Trokare, welche Hohlrohre sind, die durch die Bauchdecke oder die Brustwand eines Patienten eingesetzt werden, möglich ist.

[0003] Genauer besteht die Laparoskopie darin, einerseits ein Laparoskop in die Bauchdecke oder Brustwand eines Patienten einzusetzen, welches dem Chirurg somit das Betrachten und Untersuchen ermöglicht, und andererseits Instrumente einzusetzen, welche es ermöglichen, einen Eingriff unter Sichtkontrolle durch das Laparoskop durchzuführen, ohne dafür die ganze Bauchdecke öffnen zu müssen.

[0004] Obwohl eine laparoskopische Operation vollständig von Hand ausgeführt werden kann, wird sie manchmal von einem Robotersystem durchgeführt.

[0005] In diesem Fall bedient der Operateur nicht direkt die chirurgischen Werkzeuge, sondern führt dies über eine elektromechanische Schnittstelle aus, um die Genauigkeit der Laparoskopie zu verbessern.

[0006] Somit bedient der Operateur mittels einer Schnittstelle Steuerarme, welche Roboterarme steuern, die direkt an dem Patienten handeln, wobei die Roboterarme mit chirurgischen Instrumenten oder zum Beispiel einem Laparoskop verbunden sind.

[0007] Jedoch besteht ein Problem bei der Verwendung derartiger Robotersysteme darin, dass der Chirurg nicht direkt die durch das Laparoskop oder die Instrumente auf die Innenorgane des Patienten ausgeübten Kräfte beurteilen kann.

[0008] Aufgrund dieser Tatsache muss er das Fehlen einer taktilen Empfindung durch eine Sichtbeurteilung der Verformungen der Organe, die er auf dem Bildschirm zur Visualisierung des Laparoskopbilds beobachten kann, ersetzen.

[0009] Dies ist insbesondere im Fall endochirurgischer Operationen störend, für die sehr genaue mikrochirurgische Handgriffe erforderlich sind und wobei alle Messparameter bekannt sein müssen.

[0010] Aktuell sind für herkömmliche (nicht endoskopische) Anwendungen fernlenkbare Steuersysteme erhältlich, welche eine Kontrolle der durch den Operateur auf den Patient ausgeübten Kräfte ermöglichen.

[0011] Jedoch basieren diese Methoden auf der Hypothese, dass die Wechselwirkung, die zu verspüren gewünscht wird, gemessen oder geschätzt werden kann.

[0012] Das ist in der endoskopischen Chirurgie schwer zu berücksichtigen, da in diesem Fall in den Patienten ein Kraft-Sensor eingesetzt werden müsste, der den Ansprüchen der Sterilisation, des Raumbedarfs, der Präzision und von Kosten genügen müsste.

[0013] Somit wäre es insbesondere vorteilhaft, genau die Kraft der Wechselwirkung Instrument/Innenorgan beurteilen zu können, ohne dass ein interner Sensor verwendet wird.

[0014] Aus der Patentanmeldung EP 0 624 346 ist bekannt, einen Ultraschall-Trokar mit einer abgechrägten Spitze herzustellen, wobei diese Vorrichtung verwendet werden kann, um mittels eines Kraft-Sensors die Stärke des Eindringen in das Gewebe bei dem Einsetzen des Trokars in den Patienten beurteilen zu können. Es wird somit nicht verwendet, um die auf die Innenorgane des Patienten ausgeübten Kräfte zu messen, wobei die erforderlichen Bedingungen der Sterilisation bei einem chirurgischen Eingriff erfüllt werden.

[0015] Mit der vorliegenden Erfindung wird beabsichtigt, dieses Problem durch eine einfache, kostengünstige, zuverlässige instrumentalisierte Vorrichtung zu lösen, die an bereits existierenden fernlenkbaren Robotersystemen angebracht werden kann.

[0016] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Trokar für die Durchführung eines chirurgischen Instrumentes, dadurch gekennzeichnet, dass es Messmittel für die durch das Instrument auf die Innenorgane eines Patienten ausgeübte Kraft aufweist, wobei die Messmittel in Form wenigstens eines Kraft-Sensors vorliegen, der zwischen dem Trokar und einer Führung angeordnet ist.

[0017] Genauer ist der Kraft-Sensor auf dem Trokar angebracht und entspricht vorteilhafterweise einer Rolle mit einer Mittelöffnung.

[0018] Vorteilhafterweise liegt die Führung in Form eines rohrförmigen Elements mit Längsachse (X-X) vor, welches an einem seiner Enden senkrecht zu (X-X) eine kreisförmige Scheibe aufweist, und wird in die Mittelöffnung des Kraft-Sensors und des Trokars eingesetzt.

[0019] Gemäß einer ersten Ausführungsform des Trokars gemäß der Erfindung wird das Instrument durch einen Roboterarm in Bewegung versetzt, und ein zweiter Kraft-Sensor ist zwischen dem Ende des Roboterarms und dem chirurgischen Instrument an-

geordnet.

[0020] Gemäß einer zweiten Ausführungsform wird das Instrument durch einen Übertrager, vorzugsweise durch einen Rollen-Übertrager, bewegt, und der Trokar wird durch das Ende eines Roboterarms bewegt.

[0021] Vorteilhafterweise wird im Allgemeinen das Versetzen des Roboterarms von einer Schnittstelle gesteuert.

[0022] Die vorliegende Erfindung wird nun anhand von Beispielen, die nur darstellend sind und den Schutzbereich der Erfindung nicht einschränken, anhand der beigefügten Zeichnungsfiguren beschrieben, in denen:

[0023] **Fig. 1** eine schematische Ansicht einer ferngelenkten endochirurgischen Bedieneinheit darstellt;

[0024] **Fig. 2** eine perspektivische Explosionsansicht eines Trokars gemäß der Erfindung darstellt, in der das chirurgische Instrument durch einen Roboterarm versetzt wird; und

[0025] **Fig. 3** eine perspektivische Explosionsansicht eines Trokars gemäß der Erfindung darstellt, in der das chirurgische Instrument durch einen Übertrager versetzt wird.

[0026] Die vorliegende Erfindung wird für eine Verwendung bei einem chirurgischen Eingriff der Art Laparoskopie beschrieben, wobei darauf hingewiesen wird, dass das allgemeine Prinzip der Erfindung insbesondere bei jeder Art von ferngelenktem chirurgischem Eingriff, bei dem ein Trokar verwendet wird, oder auch bei jedem System zum Einarbeiten und Einführen in die chirurgischen Handgriffe, das zur Ausbildung von Chirurgen dient, angewendet werden kann.

[0027] In **Fig. 1** ist ein Robotersystem **1** dargestellt, welches die Durchführung eines ferngelenkten chirurgischen Eingriffs mittels einer Schnittstelle **2** ermöglicht und welches genauer der Durchführung endochirurgischer Eingriffe dient.

[0028] Die Schnittstelle **2** liegt in Form eines Bildschirms **3** und eines Paares Steuerarme **4** vor, das von einem Chirurgen bedient werden kann.

[0029] Der Schnittstelle **2** ist ein Operationstisch **5** zugeordnet, auf welchem der Patient **6** vor der Operation angeordnet wird.

[0030] Dem Operationstisch **5** ist eine Einheit Roboterarme **7** zugeordnet, wobei darauf hingewiesen wird, dass an einen Roboterarm ein Laparoskop, eine Kamera, ein Satz Pinzetten, ein Skalpell etc. ange-

bracht werden können.

[0031] Vorteilhafterweise wird durch das Versetzen des Paares Steuerarme **4** durch den Chirurgen das Versetzen der Roboterarme **7** bewirkt, wobei darauf hingewiesen wird, dass mehrere Roboterarme **7** von dem Paar Steuerarme **4** gesteuert werden können, wobei die Schnittstelle **2** das Auswählen der Roboterarme **7**, die der Chirurg fernlenken möchte, ermöglicht.

[0032] Vorteilhafterweise weist die Schnittstelle **2** einen Sitz **8** auf, der den Komfort für den Chirurgen bei der Operation verbessert, um Müdigkeit, die durch ein langes Stehen während der Operation verursacht wird, zu mindern.

[0033] **Fig. 2** stellt eine perspektivische Explosionsansicht eines Trokars dar, der an einem durch einen Roboterarm bewegten Instrument angebracht ist.

[0034] Vorteilhafterweise wird ein Trokar **9** verwendet, der an sich bekannt ist, das heißt, welcher in Form eines rohrförmigen Hohlelements vorliegt und bei einem chirurgischen Eingriff in die Bauchdecke eines Patienten **6** eingesetzt wird.

[0035] An dem Trokar **9** ist ein erster Kraft-Sensor **10** an sich bekannter Art und kommerziell erhältlich, beispielsweise ein unter dem Namen ATI Nano43 (angemeldete Marke) bekannter Sensor, angebracht.

[0036] Der erste Kraft-Sensor **10** ist zylinderförmig, vorzugsweise in Form einer Rolle, und weist eine Mittelöffnung **11** auf, in die eine passive und in Translationsrichtung abgedichtete Führung **12** eingesetzt werden kann.

[0037] Die Führung **12** ist ein rohrförmiges Hohlelement **13**, welches an einem seiner Enden eine kreisförmige Scheibe **14** aufweist, die quer zur Längsachse (X-X) des rohrförmigen Elements **13** angeordnet ist.

[0038] Vorteilhafterweise wird das rohrförmige Element **13** in die Mittelöffnung **11** des ersten Kraft-Sensors und in den Trokar **9** eingesetzt.

[0039] Die Führung **12** ist vorteilhafterweise aus einem sterilisierbaren Material, zum Beispiel aus Edelstahl.

[0040] Um die Einheit aus Führung **12** und erstem Kraft-Sensor **10** abzudichten, wird zwischen den beiden Elementen (nicht in der Zeichnungsfigur dargestellt, aber an sich bekannter Art) eine Gummidichtung bekannter Art hinzugefügt.

[0041] Ein Instrument **15**, beispielsweise ein Laparoskop, das mit einem Ende **16** eines Roboterarms **7**

verbunden ist, ist in der Lage, in der Führung **12** mit einem oder zwei Freiheitsgraden der Translation bezogen auf (X-X) und/oder der Rotation um (X-X) zu gleiten.

[0042] Es wird darauf hingewiesen, dass das Instrument **15** irgendein chirurgisches Instrument an sich bekannter Art ist und geeignet ist, in einen Trokar **9** eingesetzt zu werden.

[0043] Ein zweiter Kraft-Sensor **17** an sich bekannter Art und gängig im Handel erhältlich, beispielsweise ein unter dem Namen ATI Nano43 (angemeldete Marke) bekannter Sensor, wird zwischen dem Ende **16** eines Roboterarms **7** und dem Instrument **15** angeordnet.

[0044] Die Wahl der Form und der Funktionen des zweiten Kraft-Sensors **17** ist unabhängig von der Wahl der Form und der Funktionen des ersten Kraft-Sensors **11**.

[0045] Vorteilhafterweise ist der zweite Sensor **17** zylinderförmig, beispielsweise in Form einer Rolle mit einer Mittelöffnung **18**.

[0046] Um die Kraft der Wechselwirkung zwischen dem Instrument **15** und den Innenorganen des Patienten **6** zu ermitteln, wurde eine Schätzfunktion entwickelt, die auf dynamischen Gleichungen basiert, welche die auf Ebene der Verbindung zwischen dem Trokar **9** und dem Instrument **15** wirkenden Kräfte und Drehmomente aufgreifen.

[0047] Genauer ist es möglich, indem $W_{i,j}$ als Torseur, das heißt, die Kraft und das Moment an einem willkürlichen Punkt, von mechanischen Aktionen, die durch den Körper i auf den Körper j ausgeübt werden, und $W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow j}$ als Torseur, der die Wirkung des Gravitationsfelds auf den Körper i darstellt, bezeichnet wird, eine statische Modellierung des Trokars durchzuführen, indem vorausgesetzt wird, dass das System im Gleichgewicht ist.

[0048] Unter Vernachlässigung der dynamischen Kräfte wird nämlich die Gleichgewichtsbedingung des Instruments **15** bestimmt, und zwar:

$$\Sigma W_{\text{außen} \rightarrow \text{Instrument}} = 0 = W_{\text{zweiter_Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{Führung} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{Organ} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Instrument}}$$

[0049] Jedoch ist es zur Berücksichtigung der dynamischen Kräfte möglich, Sensoren anzuordnen, welche es ermöglichen, die Beschleunigungen von Körpern zu messen oder zu schätzen und die Messungen gleichzeitig mit einem Modell der Gegenstände zu verwenden, um die Trägheitseinwirkungen zu kompensieren, wobei diese Technik dem Durchschnittsfachmann bekannt ist.

[0050] Dann wird die Gleichgewichtsbedingung der Führung **12** bestimmt, und zwar:

$$\Sigma W_{\text{außen} \rightarrow \text{Führung}} = 0 = W_{\text{Instrument} \rightarrow \text{Führung}} + W_{\text{erster_Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Führung}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Führung}}$$

[0051] Der erste Kraft-Sensor **10** ermöglicht es, $W_{\text{erster_Sensor} \rightarrow \text{Führung}}$ zu messen, und der zweite Kraft-Sensor **17** ermöglicht es, $W_{\text{zweiter_Sensor} \rightarrow \text{Instrument}}$ zu messen.

[0052] Anhand der beiden vorgenannten Gleichungen ist es möglich, die Kraft der Wechselwirkung zwischen dem Instrument **15** und den Innenorganen des Patienten **6** zu messen.

[0053] Damit folgt:

$$W_{\text{Instrument} \rightarrow \text{Organ}} = W_{\text{erster_Sensor} \rightarrow \text{Führung}} + W_{\text{zweiter_Sensor} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{Schwerkraft}}$$

$$\text{Mit } W_{\text{Schwerkraft}} = W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Führung}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Instrument}}$$

[0054] Sind $W_{\text{erster_Sensor} \rightarrow \text{Führung}}$ und $W_{\text{zweiter_Sensor} \rightarrow \text{Instrument}}$ erst einmal gemessen, wird $W_{\text{erster_Sensor} \rightarrow \text{Führung}}$ in der gleichen Basis und zum gleichen Punkt wie Messpunkt $W_{\text{zweiter_Sensor} \rightarrow \text{Instrument}}$ ausgedrückt, wobei die Durchführung des Schätzens dem Durchschnittsfachmann bekannt ist.

[0055] Im Anschluss wird der Torseur der Schwerkkräfte berechnet, und zwar

$$\hat{W}_{\text{Schwerkraft}} = \hat{W}_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Instrument}} + \hat{W}_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Führung}}$$

[0056] Diese Berechnung, auf ein Gewichtsmodell gestützt, ist für den Durchschnittsfachmann selbsterklärend.

[0057] Schließlich wird, indem alle Torseure bezogen auf Messpunkt $W_{\text{zweiter_Sensor} \rightarrow \text{Instrument}}$ zum Messpunkt $W_{\text{zweiter_Sensor} \rightarrow \text{Instrument}}$ gemessen wurden, anschließend die Wechselwirkung des Instruments **15** mit den Innenorganen des Patienten **6** geschätzt, das heißt:

$$\hat{W}_{\text{Instrument} \rightarrow \text{Organ}} = W_{\text{zweiter_Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{erster_Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Führung}} + \hat{W}_{\text{Schwerkraft}}$$

[0058] Diese Schätzung wird von einem Rechner an sich bekannter Art durchgeführt und ermöglicht eine Darstellung der von dem Instrument auf die Innenorgane ausgeübte Kraft auf Ebene der Schnittstelle **2** mit Hilfe von elektrischen Mitteln an sich bekannter Art.

[0059] Weiterhin sind die physikalischen Parameter, wie Massen und Schwerpunkt, und die geometrischen Parameter, wie die Position und relative Ausrichtung der Kraft-Sensoren, die Position des Instru-

ments **15** bezogen auf den Trokar **9**, bekannt, entweder a priori, wenn ein Modell angegeben wurde, oder aus einem Verfahren der Anfangskalibrierung, dessen Durchführung dem Durchschnittsfachmann bekannt ist.

[0060] In [Fig. 3](#) ist eine Explosionsansicht eines Trokars dargestellt, der einem Kraft-Sensor und einem Übertrager zugeordnet wurde.

[0061] [Fig. 3](#) ist eine alternative Darstellung des Trokars gemäß der Erfindung, bei dem es nur erforderlich ist, einen einzigen Kraft-Sensor einzusetzen, um die Wechselwirkungskräfte zwischen einem chirurgischen Instrument und den Innenorganen eines Patienten zu bestimmen.

[0062] In der folgenden Beschreibung werden bezogen auf [Fig. 2](#) gleiche Bezugsэлеmente mit gleichen Bezugsziffern gekennzeichnet.

[0063] Um die von einem Instrument **15** auf die Innenorgane eines Patienten **6** ausgeübten Kräfte beurteilen zu können, werden auf einem Trokar **9** an sich bekannter Art eine Führung **12** in Form eines rohrförmigen Elements **13** und eine kreisförmige Scheibe **14** angeordnet.

[0064] Vorteilhafterweise liegt die Führung **12** in Form eines rohrförmigen Elements **13** mit einer kreisförmigen Scheibe **14** an einem seiner Enden senkrecht zu der Längsachse (X-X) des rohrförmigen Elements **13** vor.

[0065] Zwischen der Führung **12** und dem Trokar **9** wird ein Kraft-Sensor **19** der gleichen Art wie die zuvor für den Trokar aus [Fig. 2](#) verwendete Art, das heißt, in Form einer Rolle mit einer Mittelöffnung **20** für die Durchführung des Instruments **15** und der passiven Führung **12**, angeordnet.

[0066] Folglich ist der Kraft-Sensor **19** an sich bekannter Art und gängig im Handel verfügbar, beispielsweise ein unter dem Namen ATI Nano43 (angemeldete Marke) bekannter Sensor.

[0067] Das rohrförmige Element **13** der Führung **12** wird in die Mittelöffnung **20** des Kraft-Sensors **19** und in den Trokar **9** eingesetzt

[0068] Ein Übertrager **21** wird in die kreisförmigen Scheibe **14** der Führung **12** eingesetzt und ist in der Lage, das Versetzen in Längsrichtung gemäß (X-X) eines Instruments **15** (aus Gründen der Deutlichkeit nicht in [Fig. 3](#) dargestellt, aber an sich bekannter Art, wie jenes aus [Fig. 2](#)) zu ermöglichen.

[0069] Vorteilhafterweise ist der Übertrager **21** an sich bekannter Art, wie beispielsweise ein Rollen-Übertrager.

[0070] Der Trokar **9** wird direkt durch das Ende **16** eines Roboterarms **7** bewegt.

[0071] Alternativ kann der Trokar **9** von einem autonomen Robotersystem bewegt werden, welches es ermöglicht, den Trokar **9** entsprechend unterschiedlichen Ausrichtungen zu neigen.

[0072] Somit wird jede Kraft zwischen dem Instrument **15** und den Innenorganen des Patienten **6** über den Übertrager-Mechanismus **21** zu dem Kraft-Sensor **19** zurück übertragen.

[0073] Vorteilhafterweise wurde eine Rückkraft-Steuerung, dem Durchschnittsfachmann an sich bekannter Art, entwickelt, um anhand eines externen Sensors **19** die Kräfte in dem Körper trotz durch den Trokar **9** verursachte Reibungen zu steuern.

[0074] Genauer wird, wie für den Trokar aus [Fig. 2](#), darauf hingewiesen, dass zum Schätzen der Kraft der Wechselwirkung zwischen dem Instrument **15** und den Innenorganen **6**, möglich ist, eine statische Modellierung des Trokars durchzuführen, indem vorausgesetzt wird, dass das System im Gleichgewicht ist, wobei $W_{i \rightarrow j}$ der Torseur, das heißt, die Kraft und das Moment an einem willkürlichen Punkt, von mechanischen Aktionen, die durch den Körper *i* auf den Körper *j* ausgeübt werden, und $W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow j}$ der Torseur, der die Wirkung des Gravitationsfelds auf den Körper *i* darstellt, sind.

[0075] Tatsächlich können bei den in der Chirurgie verwendeten Geschwindigkeiten die Trägheitskräfte der Beschleunigungen vernachlässigt werden.

[0076] Um die verschiedenen Kräfte des Trokars **9** zu modellieren und zu schätzen, wird bestimmt, dass die Gleichgewichtsbedingungen des Instruments **15**, des Übertragers **21** und der Führung **12** sind:

– Gleichgewichtsbedingungen des Instruments **15**:

$$\sum W_{\text{außen} \rightarrow \text{Instrument}} = 0 = W_{\text{Übertrager} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{Führung} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{Organ} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Instrument}}$$

– Gleichgewichtsbedingungen des Übertragers **21**:

$$\sum W_{\text{außen} \rightarrow \text{Übertrager}} = 0 = W_{\text{Instrument} \rightarrow \text{Übertrager}} + W_{\text{Führung} \rightarrow \text{Übertrager}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Übertrager}}$$

– Gleichgewichtsbedingungen der Führung **12**:

$$\sum W_{\text{außen} \rightarrow \text{Führung}} = 0 = W_{\text{Übertrager} \rightarrow \text{Führung}} + W_{\text{Instrument} \rightarrow \text{Führung}} + W_{\text{Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Führung}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Führung}}$$

[0077] Es wird darauf hingewiesen, daß $W_{\text{Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Führung}}$ die von dem Kraft-Sensor **19** ge-

messene Kraft ist.

[0078] Es wird das Schätzen der Kraft der Wechselwirkung des Instruments **15** mit den Innenorganen des Patienten **6** versucht, das heißt $W_{\text{Organ} \rightarrow \text{Instrument}}$.

[0079] Indem die drei vorgenannten Gleichungen kombiniert werden, erhält man:

$$W_{\text{Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Führung}} = W_{\text{Übertrager} \rightarrow \text{Führung}} - W_{\text{Instrument} \rightarrow \text{Führung}} - W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Führung}}$$

$$W_{\text{Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Führung}} = W_{\text{Führung} \rightarrow \text{Übertrager}} + W_{\text{Führung} \rightarrow \text{Instrument}} - W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Führung}}$$

oder man hat:

$$W_{\text{Führung} \rightarrow \text{Übertrager}} = -W_{\text{Instrument} \rightarrow \text{Übertrager}} - W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Übertrager}}$$

und

$$W_{\text{Führung} \rightarrow \text{Übertrager}} = -W_{\text{Übertrager} \rightarrow \text{Instrument}} - W_{\text{Organ} \rightarrow \text{Übertrager}} - W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Instrument}}$$

[0080] Somit erhält man schließlich

$$W_{\text{Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Führung}} = W_{\text{Instrument} \rightarrow \text{Organ}} - (W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Übertrager}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Führung}})$$

[0081] Somit entsprechen die von dem Sensor **19** gemessenen Kräfte den Innenkräften zwischen dem Instrument **15** und den Innenorganen des Patienten **6**, in der Gewichtung der Einheit Instrument **15**/passive Führung **12**/Übertrager **21**.

[0082] Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die Reibungen zwischen der passiven Führung **12** und dem Instrument **15** sowie die Wechselwirkungen zwischen der Bauchdecke und dem Trokar **9** nicht in die Messung eingehen.

[0083] Somit ist es angebracht, zuerst den von dem Kraft-Sensor **19** gelieferter Torseur zu messen, nämlich $W_{\text{Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Führung}}$, um die Wechselwirkungen zwischen dem Instrument **15** und den Innenorganen des Patienten **6** zu schätzen.

[0084] Anschließend ist es erforderlich, den Torseur der Kräfte der Schwerkraft zu berechnen, und zwar:

$$\hat{W}_{\text{Schwerkraft}} = W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Übertrager}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Instrument}} + W_{\text{Schwerkraft} \rightarrow \text{Führung}}$$

[0085] Dann ist es möglich, die Wechselwirkung zwischen dem Instrument **15** und den Innenorganen des Patienten **6** durch die folgende Gleichung zu schätzen:

$$\hat{W}_{\text{Instrument} \rightarrow \text{Organ}} = W_{\text{Kraft_Sensor} \rightarrow \text{Führung}} + \hat{W}_{\text{Schwerkraft}}$$

[0086] Um den Torseur der Kräfte der Schwerkraft zu berechnen, werden aktuell mehrere Verfahren angewendet:

– Entweder ist das Gewichtsmodell (Masse und Ort des Schwerpunkts) des Instruments **15**, des Übertragers **21** und der Führung **12** genau bekannt.

In diesem Fall wird der Torseur der Schwerkraft anhand der Messung der Ausrichtung des Trokars **9** berechnet, durchgeführt anhand von Positionssensoren, die an dem Roboterarm **16** angeordnet sind, der direkt mit dem Trokar **9** verbunden ist, und anhand der Messung der Position des Instruments **15** bezogen auf die Führung **12**, durchgeführt anhand von auf dem Übertrager **21** angeordneten Positionssensoren, wobei dieses Verfahren dem Durchschnittsfachmann offensichtlich ist.

– Oder ein oder mehrere Parameter, die für die Berechnung auf Basis des Modells erforderlich sind, sind nicht bekannt.

[0087] In diesem Fall wird vor der Operation eine Kalibrierung durchgeführt. Dazu wird das System mittels des Übertragers **21** und des Endes **16** des Roboterarms **7** in unterschiedlichen geometrischen Gestaltungen platziert, wobei gleichzeitig überwacht wird, dass das Instrument **15** nicht mit den Innenorganen des Patienten **6** in Kontakt kommt.

[0088] Somit ist es möglich, entweder eine Bezugstabelle zu erstellen oder die Parameter des Gewichtsmodells gemäß einer dem Durchschnittsfachmann bekannten Operationsweise zu bestimmen.

[0089] Es ist ebenfalls möglich, den Torseur der von dem Instrument **15** auf die Innenorgane des Patienten **6** ausgeübten Kräfte in einer mit dem Instrument **15**, und nicht mit dem Kraft-Sensor **19**, verbundenen Grundlage auszudrücken, und in einem Punkt, der dem Ende des Instruments **15** entspricht und nicht einem Punkt, der mit dem Kraft-Sensor **19** verbunden ist.

[0090] In diesem Fall ist es ausreichend, die relative Position des Instruments bezogen auf den Sensor **19** zu kennen, was sich gemäß dem Durchschnittsfachmann bekannten herkömmlichen Methoden berechnen lässt.

[0091] Somit ist es möglich, anhand der an dem Ende eines Trokars **9** angeordneten Kraft-Sensoren (**10**, **17**, **19**) die Kräfte der Wechselwirkung zwischen einem chirurgischen Instrument **15** und einem Innenorgan eines Patienten **6** zu bestimmen.

[0092] Das Schätzen der Kraft der Wechselwirkung zwischen dem chirurgischen Instrument **15** und den Innenorganen eines Patienten **6** wird anhand der von den Kraft-Sensoren (**10**, **17**, **19**) gemessenen Torseure durchgeführt, wobei ein Rechner an sich be-

kannter Art die sofortige Anzeige der von dem Instrument **15** auf die Innenorgane des Patienten **6** ausgeübte Kraft auf Ebene der Schnittstelle **2** ermöglicht.

[0093] Vorteilhafterweise kann der Chirurg anhand der Schnittstelle **2** die maximale Kraft bestimmen, die er auf die Innenorgane des Patienten **6** ausüben möchte und die er nicht überschreiten möchte.

[0094] Diese Begrenzung der Kraft, die auf die Innenorgane **6** ausgeübt wird, ermöglicht es sicherzustellen, dass ein unkontrollierter grober Handgriff mit erhöhter Kraft keinen Einfluss auf die Innenorgane des Patienten **6** hat.

[0095] Vorteilhafterweise weist die Schnittstelle **2** Mittel zur Steuerung der Kraft, die durch das Instrument ausgeübt wird, und/oder Mittel zur Wiedergabe der durch das Instrument ausgeübten Kraft für den Chirurgen mittels des Steuerarms **4** auf.

Patentansprüche

1. Trokar (**9**) für die Durchführung eines chirurgischen Instrumentes (**15**), **dadurch gekennzeichnet**, dass es Messmittel (**10, 17, 19**) für die mit dem Instrument (**15**) auf die Innenorgane des Patienten (**6**) ausgeübte Kraft aufweist, wobei die Messmittel in Form wenigstens eines Kraft-Sensors (**10, 19**) vorliegen, der zwischen dem Trokar (**9**) und einer Führung (**12**) angeordnet ist.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kraft-Sensor (**10, 19**) auf dem Trokar (**9**) angeordnet ist.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (**10, 19**) in Form einer Rolle mit einer Mittelöffnung (**11, 20**) vorliegt.

4. Vorrichtung gemäß einem der vorausgegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Führung (**12**) in Form eines rohrförmigen Elements (**13**) mit Längsachse (X-X) vorliegt, welches an einem seiner Enden senkrecht zu (X-X) eine kreisförmige Scheibe (**14**) aufweist.

5. Vorrichtung gemäß Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Führung (**12**) in die Mittelöffnung (**11, 20**) des Kraft-Sensors (**10, 19**) und des Trokars (**9**) eingesetzt wird.

6. Vorrichtung gemäß einem der vorausgegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Instrument (**15**) durch einen Roboterarm (**7**) bewegt wird.

7. Vorrichtung gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweiter Kraft-Sensor (**17**) zwi-

schen dem Ende (**16**) des Roboterarms (**7**) und dem chirurgischen Instrument (**15**) angeordnet wird.

8. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Instrument (**15**) durch einen Übertrager (**21**) bewegt wird.

9. Vorrichtung gemäß dem vorausgegangenen Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Übertrager (**21**) auf der Führung (**12**) angeordnet ist.

10. Vorrichtung gemäß Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Übertrager (**21**) ein Rollen-Übertrager ist.

11. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass diese durch das Ende (**16**) eines Roboterarms (**7**) bewegt wird.

12. Vorrichtung gemäß Anspruch 6, 7 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Versetzen des Roboterarms (**7**) von einer Schnittstelle (**2**) gesteuert wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

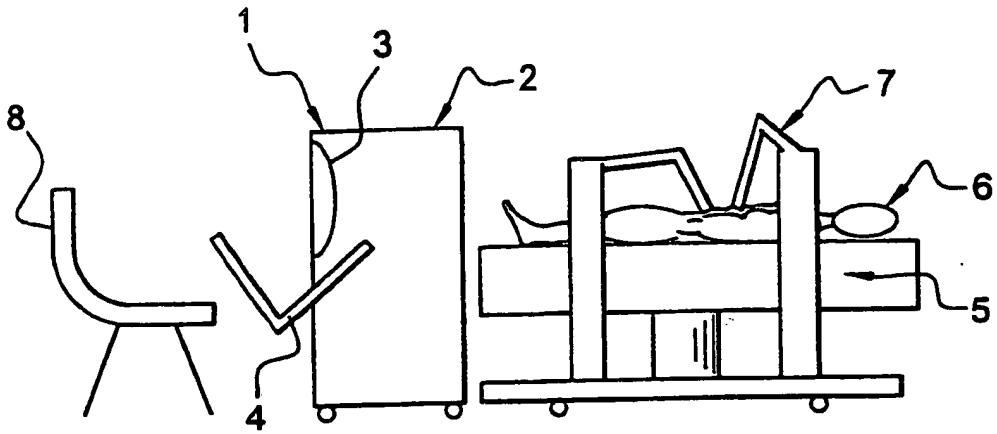


Fig. 1

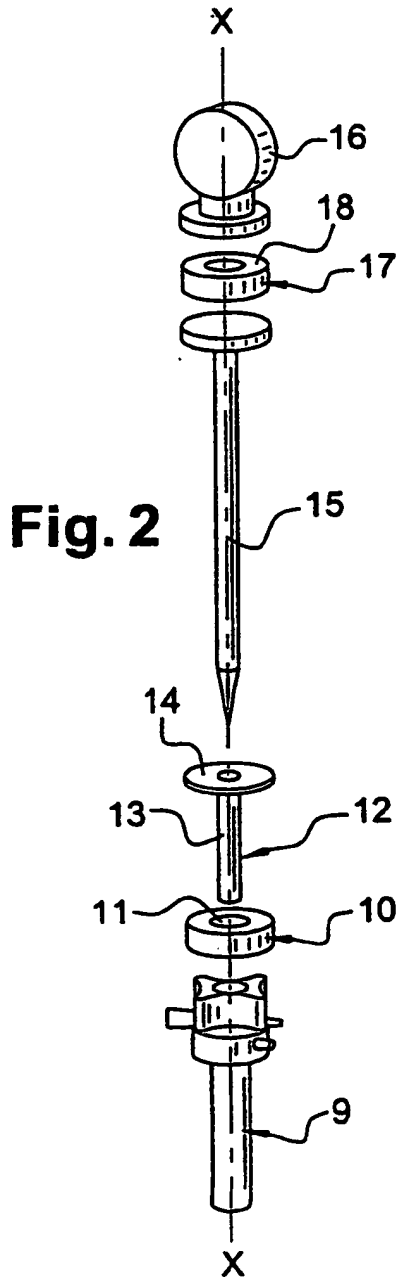


Fig. 2

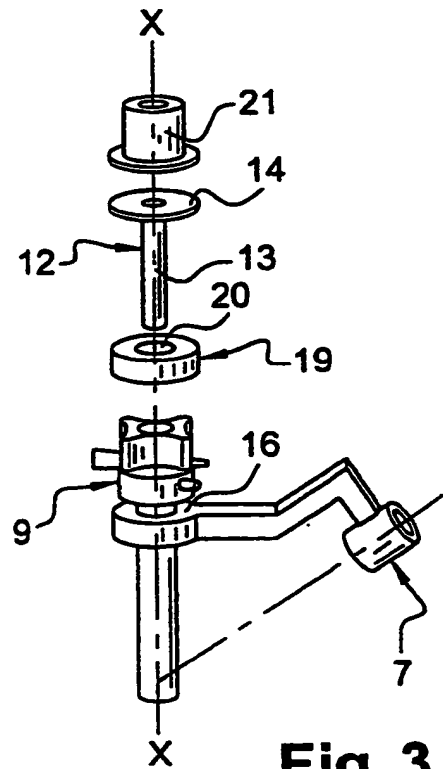


Fig. 3