

Goniometr elektroniczny oraz sposób pomiaru kąta zgięcia łokcia

Przedmiotem wynalazku jest goniometr elektroniczny przeznaczony do pomiaru kąta zgięcia łokcia, zakładany na kończynę górną, mocowany do niej za pomocą opasek elastycznych, posiadający co najmniej dwie jednostki pomiarowe wyposażone w akcelerometry trójosiowe, jednostkę obliczeniową połączoną interfejsem komunikacyjnym z jednostkami pomiarowymi oraz z jednostką nadrzędną i sposób pomiaru kąta zgięcia łokcia, przy użyciu goniometru elektronicznego według wynalazku.

Obecnie użycie klasycznego goniometru mechanicznego w formie kątomierza z dwoma ramionami jest najczęściej stosowaną metodą pomiaru zakresu ruchów stawu łokciowego. Tego rodzaju pomiar wymaga doświadczenia klinicznego niezbędnego do uzyskania wiarygodnych i powtarzalnych wyników. Goniometr mechaniczny charakteryzuje się małą dokładnością z powodu zmienności pomiarów, które zależą od doświadczenia badającego. Zmierzone wartości mogą różnić się zarówno w pomiarach dokonanych przez różnych badających jak również w pomiarach dokonanych w odstępach czasu przez tego samego badającego (inter-rater reliability, intra-rater reliability). Szacuje się, że rzeczywisty błąd pomiaru może przekraczać 10° .

Z opisu wynalazku ES 1162933 U znany jest system do noszenia na ciele przeznaczony do interakcji z maszynami lub osobami znajdującymi się w odległym środowisku. Jego konstrukcja opiera się na kombinezonie wyposażony w wiele inercyjnych jednostek pomiarowych, które obliczają orientacje przestrzenną segmentów ciała. System zawiera również goniometry rezystancyjne do detekcji ruchu palców, czujniki nacisku oraz układy generujące bodźce

czuciowe w postaci wibracji. System w podobny sposób wykorzystuje inercyjne jednostki pomiarowe, jednak jednostki montowane na kombinezonie nie są w stanie zapewnić dokładnej detekcji orientacji elementów ciała. Przeznaczeniem systemu jest zapewnienie interfejsu czuciowego pomiędzy oddalonymi osobami lub maszynami. Dokładne wyznaczenie orientacji poszczególnych segmentów ciała jest sprawą drugorzędną, jest znacznie ograniczone przez sposób zamocowania jednostek pomiarowych do ciała.

Z opisu wynalazku US 2013310711 A1 znany jest aparat do pomiaru ruchów rotacyjnych stawu ramiennie-łopatkowego. Przyrząd zawiera jednostkę wykrywającą położenie, jednostkę obliczeniową i wspólną jednostkę obliczeniową wyznaczającą ruch. Jednostka pomiarowa jest umieszczana na badanej części kończyny i wykrywa ruch z pierwszego położenia do drugiego położenia. Umożliwia wyznaczenie zakresu ruchu stawu ramiennego, jednak uzyskanie dokładnych wyników wymaga doświadczenia w wykonywaniu pomiarów ze względu na błędy wynikające ze zmiany położenia i orientacji na ramieniu, podczas wykonywania ruchu. Wynalazek jest przeznaczony do wyznaczenia zakresu ruchu stawu ramiennego.

Z opisu wynalazku US 2014171834 A1 znany jest system przechwytywania ruchu do zastosowań klinicznych, takich jak rehabilitacja kończyn górnych. Prezentowany wynalazek rejestruje zakres ruchu, wykresy zakresu kątów zgięcia i odwodzenia w czasie rzeczywistym. Wynalazcy w celu zwiększenia dokładności wskazują optymalne miejsca montażu czujników, które mocowane są za pomocą opasek elastycznych na badanej kończynie. Takie rozwiązanie nie gwarantuje uzyskania optymalnych wyników ze względu na przemieszczanie się czujników względem kości kończyny górnej z powodu zmiany objętości tkanek miękkich, w trakcie ruchu w obrębie segmentów na których są mocowane.

Uważa się, że jednym z czynników sprawczych choroby zwyrodnieniowej kolana jest szpotawe zaburzenie osi kończyn dolnych prowadzące do przeciążenia przedziału przyśrodkowego. Pomiar nieprawidłowo działających sił wymaga

wszczepienia czujnika do wnętrza stawu kolanowego kolano, jednak moment przywodzenia kolana jest skorelowany z przyśrodkową siłą kontaktową, dlatego jest często stosowany jako pomiar zastępczy. Z opisu wynalazku WO2015164706A1 znany jest układ oparty o cztery jednostki inercyjne przymocowane po dwie do każdej z kończyn dolnych, jedna na udzie i jedna na podudziu. Analiza danych z jednostek inercyjnych pomaga wyznaczyć moment przywodzenia kolana, poprzez porównanie z wartością wzorcową. Informacja zwrotna jest przekazywana człowiekowi w celu modyfikacji chodu i zmniejszenia obciążenia. Wynalazek jest przeznaczony do treningu chodu w celu zmniejszenia obciążenia stawu kolanowego, mogącego przynieść korzyści pacjentom z chorobą zwyrodnieniową. Celem wynalazku nie jest wyznaczenie kątów i zakresu ruchu kończyny.

Przedstawione powyżej oraz inne znane podobne rozwiązania nie uwzględniają zmiany orientacji czujnika przymocowanego do ciała, spowodowanej zmianą objętości mięśni podczas wykonywania ruchu. Zmiana ta może wprowadzać znaczne błędy pomiarowe.

Goniometr elektroniczny, zakładany na kończynę górną, mocowany do niej za pomocą opasek elastycznych, posiadający co najmniej dwie jednostki pomiarowe wyposażone w akcelerometry trójosiowe oraz jednostkę obliczeniową połączoną interfejsem komunikacyjnym z jednostkami pomiarowymi oraz z jednostką nadrzędną, według wynalazku charakteryzuje się tym, że posiada dwa sztywne podłużniki. Jeden podłużnik jest zamocowany na ramieniu i drugi podłużnik jest zamocowany na przedramieniu. Jednostki pomiarowe są przymocowane do podłużników bezprzemieszczeniowo względem nich. Jedna z jednostek pomiarowych jest czujnikiem pełniącym funkcję czujnika referencyjnego i jest przymocowana do pierwszego podłużnika wspartego na elementach anatomicznych ramienia: nadkłykieu przyśrodkowym i nadkłykieu bocznym oraz dopasowanego do nich kształtowo. Druga z jednostek pomiarowych jest przymocowana do drugiego podłużnika wspartego na elementach anatomicznych przedramienia: wyrostku łokciowym i wyrostku

rylcowatym kości łokciowej oraz dopasowanego do nich kształtowo.

Korzystnie, każdy z podłużników składa się z dwóch belek umieszczonych po przeciwległych stronach kończyny górnej oraz dwóch łączników łączących belki.

Dalsze korzyści są uzyskiwane, kiedy dwie opaski elastyczne mocujące drugi podłużnik są umieszczone na ręce u podstawy kciuka i w połowie długości przedramienia, w miejscu połączenia mięśniowo-ścięgnistego, a dwie opaski elastyczne mocujące pierwszy podłużnik są umieszczone powyżej dołu łokciowego oraz w części bliższej ramienia, tuż poniżej dołu pachowego.

Korzystnie długość podłużników jest regulowana.

Inne korzyści są uzyskiwane, kiedy podłużniki są wykonane z termotworzywa.

Dalsze korzyści są uzyskiwane, kiedy co najmniej jedna jednostka pomiarowa jest wyposażona w żyroskop.

Inne korzyści są uzyskiwane, kiedy połączenie jednostki obliczeniowej z jednostką nadrzędną jest przewodowym interfejsem komunikacyjnym, a inne, kiedy jednostka obliczeniowa posiada własne źródło zasilania, a jej połączenie z jednostką nadrzędną jest bezprzewodowym interfejsem komunikacyjnym.

Korzystnie goniometr elektroniczny posiada cztery jednostki pomiarowe, z których dwie są przymocowane do pierwszego podłużnika wspartego na elementach anatomicznych ramienia, a kolejne dwie są przymocowane do drugiego podłużnika wspartego na elementach anatomicznych przedramienia.

W tym przypadku, dalsze korzyści są uzyskiwane, kiedy każde dwie z jednostek pomiarowych przymocowanych do podłużnika są zamocowane w taki sposób, że jedna z nich jest przymocowana w połowie jego długości, a druga na końcu podłużnika maksymalnie oddalonym od osi obrotu stawu łokciowego, przy czym jednostka pomiarowa umieszczona na końcu pierwszego podłużnika pełni funkcję czujnika referencyjnego.

Sposób pomiaru kąta zgięcia łokcia, przy użyciu opisanego powyżej goniometru elektronicznego, według wynalazku charakteryzuje się tym, że w

kroku pierwszym po przymocowaniu podłużników wraz z jednostkami pomiarowymi do ramienia i przedramienia goniometr kalibruje się poprzez ruch kończyny górnej bez zginania badanego stawu łokciowego, przy zachowaniu warunku unieruchomienia względem siebie ramienia i przedramienia, w celu uzyskania wzajemnej orientacji jednostek pomiarowych względem czujnika referencyjnego. W kroku drugim realizuje się pomiar kąta zgięcia łokcia jako zmianę względnej orientacji ramienia względem przedramienia, na podstawie zmiany orientacji jednostek pomiarowych względem czujnika referencyjnego, poprzez analizę danych pomiarowych dotyczących przyspieszenia i prędkości kątowej w trzech osiach XYZ z co najmniej dwóch jednostek pomiarowych, przekazywanych do jednostki obliczeniowej. W kroku trzecim transferuje się wyniki uzyskane w jednostce obliczeniowej do jednostki nadrzędnej w celu ich rejestracji i wizualizacji w czasie rzeczywistym.

Korzystnie w pierwszym kroku, przy kalibracji, wykonuje się okrężny ruch kończyny górnej w stawie ramiennym.

Inne korzyści są uzyskiwane, kiedy mierzy się obrót ramienia.

Wynalazek umożliwia znacznie dokładniejsze wyznaczenie zakresu ruchów w porównaniu do stosowania goniometru mechanicznego. Ponadto, wykonując próbkowanie z dużą prędkością pozwala ocenić płynność oraz prędkość kątową ruchu - parametry, których ocena do tej pory nie była możliwa. Tym samym, wynalazek umożliwia wyznaczanie nie tylko zakresu, ale również dynamiki ruchu stawu łokciowego. Znajomość tych parametrów ma duże znaczenie w praktyce klinicznej zarówno w procesie diagnozowania jak również monitorowania przebiegu leczenia. Kolejnym atutem sposobu jest możliwość wyznaczenia osi obrotu stawu. Opracowane urządzenie pozwala na wyznaczenie większej liczby parametrów w odróżnieniu od goniometrów ręcznych i innych podobnych rozwiązań.

Dzięki zastosowaniu jednostek pomiarowych przymocowanych do podłużników bezprzemieszczeniowo względem nich, które są wsparte oraz dopasowane kształtowo do elementów anatomicznych ramienia i przedramienia,

zlikwidowany został problem zmiany orientacji czujnika przymocowanego do ciała, spowodowanej zmianą objętości tkanek miękkich podczas wykonywania ruchu. Tym samym istotnie zwiększyła się dokładność realizowanych pomiarów. Miejsca osadzenia podłużników zostały zweryfikowane empirycznie, jako te, w których konflikt podłużnika oraz opasek elastycznych ze zmieniającą się w czasie objętością tkanek jest najmniejszy. Takie podparcie układu mocującego ogranicza możliwość przemieszczania się jednostek pomiarowych względem kości, zapewniając osiągnięcie lepszego odwzorowania ruchu kości ramienia względem kości przedramienia. Również właściwe zlokalizowanie opasek elastycznych minimalizuje efekt działania zmieniającej objętość i położenie masy mięśniowej. Tym samym ograniczony jest wpływ konfliktu z tkankami miękkimi zmieniającymi położenie, kształt i objętość podczas wykonywania ruchu oraz zmiany położenia jednostek pomiarowych względem układu kostnego badanej kończyny. Dzięki zastosowaniu temotworzywa do wykonania podłużników osiągamy pożądane właściwości fizyczne i koszty. Zastosowanie podłużników o regulowanej długości pozwala na płynną zmianę ich rozmiarów.

Szybkość wyznaczania zmiany orientacji jest równa częstotliwości próbkowania jednostek pomiarowych co umożliwia, obserwację dynamiki ruchu. Analizując wykres zmiany badanego kąta można wyznaczyć zakres kątów w których prędkość zginania lub wyprostu jest największa, lub występuje wyraźne spowolnienie mogące świadczyć o dysfunkcji stawu lub mięśni obsługujących staw w tym zakresie ruchu.

Dzięki zastosowaniu czterech jednostek pomiarowych umożliwiające zostało uzyskanie większej precyzji wyznaczania zakresu ruchu oraz dodatkowo wyznaczenie osi obrotu ramienia. Ponadto, zdublowanie jednostek pomiarowych na każdym podłużniku pozwala na bieżącą kontrolę kalibracji urządzenia w trakcie pomiarów.

Opisany sposób kalibracji ma na celu uzyskanie wzajemnej orientacji jednostek pomiarowych w sytuacji, gdy oba podłużniki, ramienny i przedramienny są względem siebie unieruchomione w zadanej, referencyjnej

pozycji. Odpowiada to unieruchomieniu stawu łokciowego w zadanej przez podłużniki pozycji. Wyznaczenie wzajemnej orientacji jednostek pomiarowych jest warunkiem koniecznym do przeprowadzenia pomiaru w sposób poprawny. Miarą prawidłowości wykonania kalibracji jest wskazanie przez urządzenie tej samej pozycji początkowej i końcowej w przypadku, gdy względny ruch ramienia i przedramienia odbywa się po torze zamkniętym. Jeśli przy takim ruchu urządzenie wskaże różnicę pomiędzy pozycją początkową i końcową oznacza to że kalibracja powinna być powtórzona. Ponadto, jeśli wskutek zmiany warunków zewnętrznych takich jak np. zmiana temperatury, wskazania żyroskopów jednostek pomiarowych umocowanych na tym samym podłużniku zaczną się różnić oznacza to również konieczność powtórzenia kalibracji. Konieczność powtórzenia kalibracji powinno sygnalizować automatycznie oprogramowanie urządzenia.

Goniometr elektroniczny według wynalazku oraz sposób pomiaru kąta zgięcia łokcia, przy użyciu goniometru elektronicznego według wynalazku, zostały przedstawione na rysunku, na którym fig. od 1 do 4 przedstawiają goniometr w przykładach wykonania, a fig. 5 schemat blokowy sposobu w przykładzie realizacji. Fig. 1 przedstawia goniometr elektroniczny w pierwszym przykładzie wykonania zamocowany na rękę wyprostowaną, fig. 2 – goniometr elektroniczny w pierwszym przykładzie wykonania zamocowany na rękę zgiętą w stawie łokciowym, fig. 3 – goniometr elektroniczny w drugim przykładzie wykonania zamocowany na rękę wyprostowaną, fig. 4 – goniometr elektroniczny w trzecim przykładzie wykonania zamocowany na rękę zgiętą w stawie łokciowym, zaś fig. 5 – schemat blokowy sposobu w przykładzie realizacji.

Przedstawiony na fig. 1 goniometr elektroniczny jest zakładany na kończynę górną 1 i mocowany do niej za pomocą opasek elastycznych 2. Goniometr posiada dwie jednostki pomiarowe 3 wyposażone w akcelerometry trójosiowe oraz jednostkę obliczeniową 5 połączoną interfejsem komunikacyjnym z jednostkami pomiarowymi 3 oraz z jednostką nadrzędną 6. Jednostka pomiarowa 3 jest wyposażona w żyroskop. Jednostkę obliczeniową 5 stanowi

wydajny mikrokontroler dysponujący niezbędnymi zasobami pamięci. Jednostką nadrzędną 6 jest komputer osobisty PC. Jednostka obliczeniowa 5 jest połączona z jednostką nadrzędną 6 przewodowym interfejsem komunikacyjnym USB zapewniającym transmisję danych oraz zasilanie. Zadaniem jednostki obliczeniowej 5 jest akwizycja i analiza danych pomiarowych oraz transmisja rezultatów do jednostki nadrzędnej 6, jak również odbieranie od niej poleceń sterujących. Jednostka nadrzędna 6 zapewnia rejestrację i wizualizację danych w czasie rzeczywistym. Goniometr elektroniczny posiada dwa sztywne podłużniki 7, 8. Jeden podłużnik 7 jest zamocowany na ramieniu 9, a drugi podłużnik 8 jest zamocowany na przedramieniu 10. Długość podłużników 7, 8 jest regulowana i są one wykonane z termotworzywa. Każdy z podłużników 7, 8 składa się z dwóch belek 11 umieszczonych po przeciwległych stronach kończyny górnej 1 oraz dwóch łączników 12 łączących belki 11. Dwie opaski elastyczne 2 mocujące drugi podłużnik 8 są umieszczone na ręce 1 u podstawy kciuka i w połowie długości przedramienia 10, w miejscu połączenia mięśniowościęgnistego, a dwie opaski elastyczne 2 mocujące pierwszy podłużnik są umieszczone powyżej dołu łokciowego oraz w części bliższej ramienia 9, tuż poniżej dołu pachowego. Jednostki pomiarowe 3 są przymocowane do podłużników 7, 8 bezprzemieszczeniowo względem nich. Jedną z jednostek pomiarowych 3 jest czujnikiem pełniącym funkcję czujnika referencyjnego i jest przymocowana do pierwszego podłużnika 7 wspartego na elementach anatomicznych ramienia 9: nadkłykcium przyśrodkowym 13 i nadkłykcium bocznym 14 oraz dopasowanego do nich kształtowo. Druga z jednostek pomiarowych 4 jest przymocowana do drugiego podłużnika 8 wspartego na elementach anatomicznych przedramienia 10: wyrostku łokciowym 15 i wyrostku rylcowatym 16 kości łokciowej oraz dopasowanego do nich kształtowo.

Na fig. 2 goniometr elektroniczny w pierwszym przykładzie wykonania został przedstawiony dla przypadku kończyny górnej zgiętej w stawie łokciowym.

Przedstawiony na fig. 3 goniometr elektroniczny w drugim przykładzie wykonania posiada cztery jednostki pomiarowe 3. Dwie jednostki pomiarowe 3,

są przymocowane do pierwszego podłużnika 7 wspartego na elementach anatomicznych ramienia 9, przy czym jedna jednostka pomiarowa 3 jest przymocowana w połowie długości pierwszego podłużnika 7, a druga jednostka pomiarowa 3 na końcu pierwszego podłużnika 7 maksymalnie oddalonym od osi obrotu stawu łokciowego 19 i pełni ona funkcję czujnika referencyjnego. Kolejne dwie jednostki pomiarowe 3 są przymocowane do drugiego podłużnika 8 wspartego na elementach anatomicznych przedramienia 10, przy czym jedna jednostka pomiarowa 3 jest przymocowana w połowie długości drugiego podłużnika 8, a druga jednostka pomiarowa 3 na końcu drugiego podłużnika 8 maksymalnie oddalonym od osi obrotu stawu łokciowego 19. W zobrazowanym przykładzie wykonania jednostka obliczeniowa 5 jest zasilana z akumulatora i jest połączona z jednostką nadrzędną 6 bezprzewodowym interfejsem komunikacyjnym Wi-Fi.

Przedstawiony na fig. 4 goniometr elektroniczny jest zakładany na kończynę górną 1 i mocowany do niej za pomocą opasek elastycznych 2. Goniometr posiada cztery jednostki pomiarowe 3. Dwie jednostki pomiarowe 3, są przymocowane do pierwszego podłużnika 7 wspartego na elementach anatomicznych ramienia 9, przy czym jedna jednostka pomiarowa 3 jest przymocowana w połowie długości pierwszego podłużnika 7, a druga jednostka pomiarowa 3 na końcu pierwszego podłużnika 7 maksymalnie oddalonym od osi obrotu stawu łokciowego 19 i pełni ona funkcję czujnika referencyjnego. Kolejne dwie jednostki pomiarowe 3 są przymocowane do drugiego podłużnika 8 wspartego na elementach anatomicznych przedramienia 10, przy czym jedna jednostka pomiarowa 3 jest przymocowana w połowie długości drugiego podłużnika 8, a druga jednostka pomiarowa 3 na końcu drugiego podłużnika 8 maksymalnie oddalonym od osi obrotu stawu łokciowego 19. W zobrazowanym przykładzie wykonania podłużniki 7, 8 są wykonane z jednolitych, sztywnych kawałków materiału dopasowanych kształtowo do elementów anatomicznych ramienia 9 i przedramienia 10.

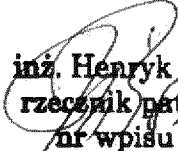
Przedstawiony na fig. 5 schemat blokowy pomiaru kąta zgięcia łokcia przy użyciu goniometru elektronicznego według wynalazku, w przykładzie realizacji składa się z kilku kroków 20, 21, 22. W kroku pierwszym 20 po przymocowaniu podłużników 7, 8 wraz z jednostkami pomiarowymi 3 do ramienia 9 i przedramienia 10 goniometr kalibruje się poprzez okrężny ruch kończyny górnej 1 w stawie ramiennym, bez zginania badanego stawu łokciowego 19, przy zachowaniu warunku unieruchomienia względem siebie ramienia 9 i przedramienia 10, w celu uzyskania wzajemnej orientacji jednostek pomiarowych 3 względem czujnika referencyjnego. W kroku drugim 21 realizuje się pomiar kąta zgięcia łokcia jako zmianę względnej orientacji ramienia 9 względem przedramienia 10, na podstawie zmiany orientacji jednostek pomiarowych 3 względem czujnika referencyjnego, poprzez analizę danych pomiarowych dotyczących przyspieszenia i prędkości kątowej w trzech osiach XYZ z dwóch jednostek pomiarowych 3, przekazywanych do jednostki obliczeniowej 5. W kroku trzecim 22 transferuje się wyniki uzyskane w jednostce obliczeniowej 5 do jednostki nadrzędnej 6 w celu ich rejestracji i wizualizacji w czasie rzeczywistym. Przedstawionym sposobem mierzy się także obrót ramienia 9.

ZELPAT Plus
Kancelaria Patentowa *Henryk Pisiński*
ul. Monte Cassino 14/53, 35-305 Rzeszów
tel./fax 17 85 22 487, kom. 512 265 180
NIP 813-28-38-767 • Regon 180048790

Henryk Pisiński
inż. Henryk Pisiński
rzecznik patentowy
nr wpisu 2505

Wykaz oznaczeń

1 - kończyzna górna	20 - krok pierwszy
2 - opaska elastyczna	21 - krok drugi
3 - jednostka pomiarowa	22 - krok trzeci
5 - jednostka obliczeniowa	
6 - jednostka nadrzędna	
7 - pierwszy podłużnik	
8 - drugi podłużnik	
9 - ramię	
10 - przedramię	
11 - belki	
12 - łączniki	
13 - nadkłykieć przyśrodkowy	
14 - nadkłykieć boczny	
15 - wyrostek łokciowy	
16 - wyrostek rylcowaty	
19 - staw łokciowy	


inż. Henryk Pisiński
rzecznik patentowy
nr wpisu 2505

ZELPAT Plus
Kancelaria Patentowa Henryk Pisiński
ul. Monte Cassino 14/53, 35-305 Rzeszów
tel./fax 17 85 22 487, kom. 512 265 180
NIP 813-28-38-767 • Regon 140048790