

Badanie zakresu ruchów w stawie kolanowym – przegląd dostępnych urządzeń pomiarowych

Artykuł recenzowany

DOMINIK PAWLIŃSKI¹@

¹Pro Homine Promovendo Sp z o.o.,
B404B Sp z o.o.
@dpawlinski@gmail.com

Słowa kluczowe:
zakres ruchu, goniometr,
urządzenia pomiarowe stawów

Keywords:
range of motion, goniometer,
measuring devices for joints

Streszczenie

Celem pracy było przedstawienie biomechaniki stawu kolanowego jako największego stawu w organizmie człowieka, określenie systemu pomiaru zakresu ruchów w tym stawie oraz systematyczny przegląd urządzeń służących do wspomnianych pomiarów. Podstawą przygotowania przeglądu urządzeń pomiarowych były doświadczenia własne autora, a także przegląd dostępnej bibliografii oraz przegląd rynkowy funkcjonujących już urządzeń. Zestawienie narzędzi pomiarowych zostało usystematyzowane od najprostszych – manualnych do bardziej zaawansowanych – elektronicznych, aż po inteligentne.

Abstract

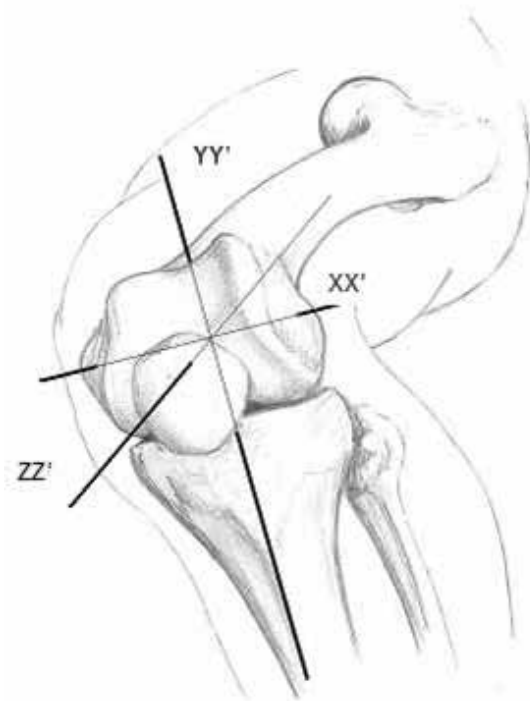
The aim of the study was to present the biomechanics of the knee joint as the largest joint in the human body, to define the system for measuring the range of movements in this joint and to systematically review the devices used for the above-mentioned measurements. The basis for the preparation of the survey of measuring devices were the authors' own experience, as well as a review of the available bibliography and a market review of existing devices. The list of measuring tools systematized them from the simplest – manual to advanced – electronic, until to intelligent.

WPROWADZENIE

Staw kolanowy jest największym stawem w ciele człowieka. Zbudowany jest on z końca dalszego kości udowej, końca bliższego kości piszczelowej oraz rzepki, w uproszczeniu łączy udo z podudziem. W obrębie stawu kolanowego znajdują się trzy połączenia stawowe: piszczelowo – udowe przyśrodkowe, piszczelowo – udowe boczne i rzepkowo – udowe [1].

.....
Funkcją stawu kolanowego jest utrzymywanie stabilności połączenia pomiędzy udem a podudziem, zarówno przy ruchach (chodzenie, bieganie) jak i podczas stania.

.....
Biomechanika stawu kolanowego jest dość skomplikowana, a ruch odbywający się w stawie kolanowym jest ruchem złożonym. Dokładne badania wykazały istnienie trzech stopni swobody inaczej trzech osi ruchu – przedstawionych na rys. 1



Rysunek 1. Osie stawu kolanowego

1. Oś XX – oś poprzeczna, przechodzi przez kłykcie kości udowej, leży w płaszczyźnie czołowej, jest osią obrotu dla zgięcia i prostowania stawu kolanowego.

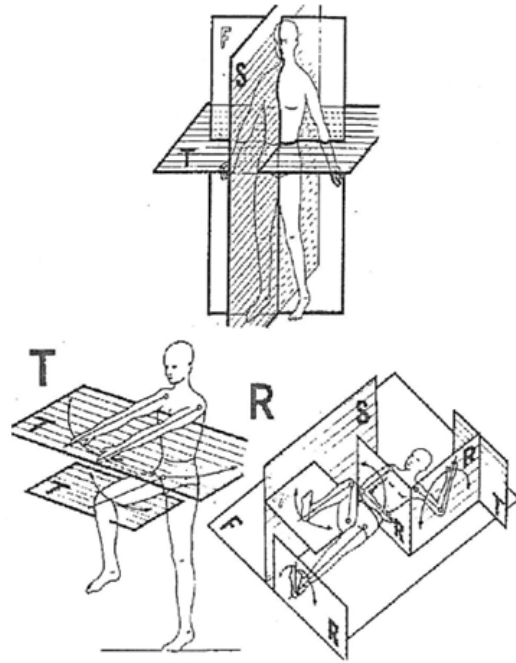
2. Oś YY – oś rotacji w płaszczyźnie horyzontalnej, związana z rotacją wokół osi podłużnej podudzia, ruch w tej osi nie jest możliwy do wykonania przy pełnym wyprostie stawu, odbywa się więc przy zgiętym stawie kolanowym.

3. Oś ZZ – oś rotacji w płaszczyźnie czołowej, jak w osi YY, ruch w osi ZZ nie jest możliwy do wykonania przy wyprostie kolana, a niewielkie wychylenia kątowe pojawiają się wzdłuż tej osi w zgięciu kolana [2].

Ze względu na niewielkie odchylenia stopniowe w osiach YY i ZZ w ogólnym uproszczeniu większość badaczy i opracowań podaje, iż staw kolanowy jest stawem zawiasowym, zmodyfikowanym o jednym stopniu swobody, wykonującym ruch głównie w jednej płaszczyźnie – strzałkowej, gdzie odbywa się ruch zgięcia i prostowania [3][4].

■ KIERUNEK BADAŃ

Od początku prób dokonania pomiarów zakresu ruchów w stawach istniały w tym zakresie różne sposoby oraz niejednolita terminologia. Podstawą do rozważań niniejszej pracy jest powszechnie stosowany zapis uznany przez Polskie Towarzystwo Ortopedyczne i Traumatologiczne. Punktem wyjścia dla pomiarów zakresu ruchów w stawach jest pozycja pośrednia, czyli zerowa, która odpowiada normalnemu, anatomicznemu położeniu stawów człowieka.



Rysunek 2. Płaszczyzny podstawowe, względem których odbywają się ruchy w stawach (według Russe, Gerhardt) [7]

W przypadku badanego stawu kolanowego przyjmuje się pozycję zerową jako pełen wyprost [5]. Dzięki określeniu pozycji zerowej jako punktu wyjścia pomiarów, możliwe jest określenie punktu powtarzalnego dla różnych badaczy oraz różnych urządzeń pomiarowych. Ważne by określony punkt startowy pomiarów był wysoce powtarzalny i dokładny dla danej metody pomiarowej.

Ustawienie pozycji zerowej standardowo uzyskuje się na dwa sposoby:

- położenie pacjenta na kozetce na plecach z wyprostowanymi kończynami dolnymi spoczywającymi na kozetce jako punkt podparcia obu kończyn
- położenie pacjenta na kozetce na brzuchu z wyprostowanymi kończynami dolnymi, ale z modyfikacją, że od około 1/2 wysokości ud spoczywają one poza kozetką tj. kolana bez podparcia.

Sam zapis zakresu ruchów może odbywać się na trzy sposoby:

- tradycyjny w którym pozycja wyjściowa jest określona jako 0°, a ruch w danej płaszczyźnie opisany jest wartością kątową dodatnią, przy określeniu kierunku ruchu
- uproszczony – za pomocą trzech liczb, tj. 0 jako liczby wyjściowej oraz dwóch liczb oznaczających krańcowe pozycje ruchu
- system SFTR [6].

System SFTR powstał pod koniec lat 60. XX wieku, pierwsze litery, określają odpowiednie płaszczyzny, w których badane są ruchy, czyli:

- S – sagital (płaszczyzna strzałkowa);
- F – frontal (płaszczyzna czołowa);
- T – transverse (płaszczyzna poprzeczna);
- R – rotation (ruchy rotacyjne).

Według powyższych założeń oraz opisanej biomechaniki w stawie kolanowym fizjologiczny, czynny, badany zakres ruchów to:

- płaszczyzna strzałkowa:
 - przeprost 5° – pozycja wyjściowa 0° – zgięcie 140°
 - w pozycji zgięcia:
 - rotacja wewnętrzna do 10°, rotacja zewnętrzna do 25°
 - odwodzenie i przywodzenie podudzia – niewielki zakres ruchu od 6° do 14°.

Pomimo dużych zakresów głównego ruchu w stawie kolanowym badania kinematyczne wykazały, że do prawidłowego funkcjonowania podczas dnia codziennego normalny chód wymaga: 67° zgięcia podczas fazy przenoszenia, 83° podczas wchodzenia po schodach, 90° podczas schodzenia po schodach oraz 93° podczas wstawania z krzesła [8]. Trójpłaszczyznowy ruch kolana w trakcie chodzenia wykazał przenoszenie zgięcia i wyprostów około 70°, w fazie podporowej 20°, dodatkowo każdy cykl chodu generował do 10° odwiedzenia/przywiedzenia i 10°-15° rotacji [8]

Najczęściej popełniane błędy przy wykonywaniu pomiarów to:

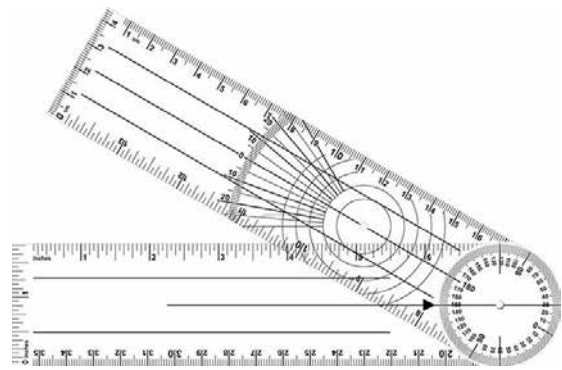
- niewłaściwy wybór urządzenia pomiarowego
- niewłaściwa pozycja wyjściowa – zerowa
- brak odpowiedniego podparcia
- niewłaściwy ruch w badanym stawie
- błędne odczytanie wartości z urządzenia
- złe przyłożenie – umiejscowienie urządzenia pomiarowego.

■ PRZEGLĄD URZĄDZEŃ POMIAROWYCH

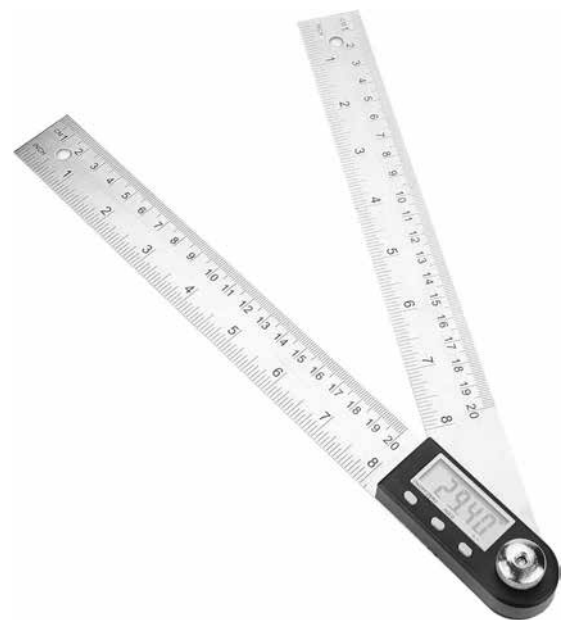
Poniżej w postaci usystematyzowanej, od najprostszej metody wzrokowej przez manualną, zelektronizowaną do inteligentnej, zostaną przedstawione urządzenia pomiarowe zakresu ruchów w stawie kolanowym.

■ METODA WZROKOWA

Przy braku jakichkolwiek urządzeń pomiarowych najprostszą metodą pomiarową jest ocena zakresu ruchu w stawie kolanowym za pomocą wzroku. Pozycją wyjściową pomiaru jest ustalona pozycja zerowa, czyli wyprost kolana – 0°, następnie zgięcie stawu do kąta prostego uzyskując 90°. Prostując kolano tj. w połowie pomiędzy 90° a 0° uzyskuje się kąt zgięcia 45°, zginając dalej kolano powyżej 90° uzyskuje się pełne czynne zgięcie około 135° – ten kąt będzie w przybliżeniu sumą kąta prostego 90° (który znacznie prosto uzyskać w stawie kolanowym) oraz wcześniej określonego kąta zgięcia 45°.



Rysunek 3. Goniometr manualny



Rysunek 4. Goniometr z zegarek elektronicznym

Pomiar tą metodą jest bardzo orientacyjny i daje powtarzalne wyniki dla kątów: 0°, 45°, 90°, 135°, pozostałe kąty pomiarowe ruchu stawu kolanowego powinny być określone w tej metodzie formułą opisową, np. zakres zgięcia pomiędzy 90° a 135°.

■ GONIOMETR

Najprostszym urządzeniem pomiarowym zakresu ruchów w stawie jest goniometr. Jest to narzędzie manualne, składające się z dwóch ramion: ruchomego i nieruchomego. Każdy goniometr posiada podziałkę od 0° do 360°[9]. Zastosowanie: centrum goniometru-zegar ustawia się po stronie bocznej stawu kolanowego mniej więcej w połowie tego stawu, ramię nieruchome ustawione jest po stronie bocznej uda wzdłuż linii środkowej, ramię ruchome ustawione jest odpowiednio co do strony i linii, ale na podudziu. Zakres kąta ruchu w stawie kolanowym uzyskuje się ru-



Rysunek 5. F-Force Sens pozycja zerowa i pomiarowa



Rysunek 6. Wygląd głównego okna aplikacji Goniometr v.1.0 [10]

chem podudzia przy nieruchomym udzie odczytując wynik na zegarze kątowym w centrum goniometru. Powtarzalność wyników jest uwarunkowana od przyłożenia części centralnej i ramion goniometru.

■ GONIOMETR ELEKTRONICZNY

Najprostszą modyfikacją stworzenia goniometru elektronicznego jest dodanie elektronicznego zegara pomiarowego do goniometru manualnego. Zasady przyłożenia goniometru pozostają niezmiennie, jedynie wynik wyświetlany jest w postaci cyfrowej.

■ K-FORCE SENS

Elektroniczny goniometr przeznaczony do oceny, monitorowania i rehabilitacji zakresu ruchu.

Urządzenie składa się z sensora wbudowanego w opaskę, którą umieszczą się poniżej badanego stawu – dla stawu kolanowego umieszcza się go



Rysunek 7. Aplikacja Goniometr Pro – ułożenie smartfonu i pomiar

na podudziu. Całe podudzie traktuje się jako ramię ruchome goniometru. Dane za pomocą bluetooth przesyłane są do komputera, gdzie podlegają analizie. Urządzenie proste, niewielkich rozmiarów, może służyć zarówno do oceny zakresu ruchów, monitorowania w krótkim czasie jak i do biofeedbacku programu rehabilitacji.

Kolejną grupą, urządzeń która umożliwi badanie zakresu ruchów są urządzenia z zastosowaniem akcelerometru. Akcelerometry stosowane są w pomiarach statycznego przyśpieszenia grawitacyjnego, które pozwala wyznaczyć kąt odchylenia mierzonego obiektu od pionu, a także w pomiarach przyśpieszenia dynamicznego na skutek wstrząsów, ruchu, uderzenia czy wibracji, czyli drgań o małej amplitudzie i niskiej częstotliwości, przez co otrzymuje się bardzo dokładne wyniki pomiarów.

■ APLIKACJA GONIOMETR V.1.0

Aplikacja wykorzystuje smartfon, który ma wbudowany akcelerometr, co pozwala na sprawdzenie położenia urządzenia w przestrzeni. Badanie odbywa się poprzez przyłożenie smartfonu do ruchomego ramienia np. podudzia i włączeniu aplikacji pomiarowej na smartfonie. Aplikacja Goniometr v.1.0 jest produktem polskim.

W bazie PubMed można odnaleźć prace, które opisują porównanie wyników pomiarów wykonywanych tradycyjnym goniometrem i za pomocą aplikacji na smartfony. Artykuły te pokazują, że różnica pomiarów zakresu ruchu wykonanych tradycyjnym goniometrem i za pomocą aplikacji na smartfonie jest niewielka. [11].

W związku z szybkim rozwojem nowoczesnych technologii pomiarowych i zastępowaniem urządzeń analogowych przez cyfrowe na rynku jest kilkanaście różnych aplikacji wykorzystujących potencjał smartfonów. Dla przykładu inną dość dobrą aplikacją jest Goniometr Pro – jednakże chwilowo niedostępna na polskim rynku.

■ LABORATORIUM BADANIA CHODU

Ciągłe dążenie do wnikliwej analizy nie tylko zakresu ruchu w danym stawie, ale również kompleksowa analiza ruchu całego człowieka stała się podstawą do powstania laboratoriów badania ruchu, które wykorzystują różne techniki pomiarowe, a suma poszczególnych pomiarów daje obraz ruchu. Najpowszechniejszym dostępnym na rynku jest BTS SMART system. Jest to optoelektroniczny system trójpłaszczyznowej analizy ruchu. Jego działanie opiera się o technologię pasywnych markerów odbijających emitowane promieniowanie podczerwone (IR) wraz w połączeniu z platformami dynamograficznymi, zestawem do analizy EMG i kamerami do rejestracji obrazu video. Pozwala to na kompleksową ocenę parametrów kinetycznych, kinematycznych i sygnału EMG podczas każdego dowolnego ruchu [12].

System BTS SMART jest bardzo zaawansowanym, inteligentnym produktem, z możliwością rozbudowania o nowe moduły pomiarowe. Ze względu jednak na zaawansowanie a co za tym idzie cenę zestawu urządzeń pomiarowych jego dostępność jest znacznie dla rynku ograniczona.

■ PODSUMOWANIE

Założeniem publikacji było pokazanie dostępnych, komercyjnych urządzeń, z pominięciem aparatury, o której wspomina się w licznych doniesieniach i pracach naukowych. Powyżej przedstawione urządzenia pomiarowe do oceny zakresu ruchów w stawie kolanowym były także jedynie częścią dostępnej na rynku aparatury. Systematyka uwzględniała pewnego rodzaju kamienie milowe w kierunku coraz to nowocześniejszych urządzeń a zarazem dokładniejszych pomiarach. Wszystkie te aparaty pomiarowe uwzględniały co najmniej jedną, z wyszczególnionych we wprowadzeniu, z osi ruchu stawu kolanowego, osiągając mniej lub bardziej zbliżone do siebie wyniki pomiarów. Przekrój urządzeń pomiarowych ukazał jak bardzo ważną cechą dokonywanych pomiarów jest ich: powtarzalność, dokładność, a w przypadku urządzeń, które wykorzystują elektronikę także czułość takiego urządzenia.

WNIOSKI

Pomimo różnorodności dostępnych urządzeń pomiarowych na rynku, od tych najprostszych tj. manualnych poprzez bardziej zaawansowane tj. angażujące elektronikę, aż po te najbardziej rozwinięte tj. inteligentne, wciąż brak jest narzędzia pomiarowego, które mierzyło by zakres ruchów w stawie kolanowych nie tylko w jednej płaszczyźnie, ale równocześnie we wszystkich stopniach swobody wykonywanych przez ten staw, a zarazem potrafiłoby rejestrować pracę stawu kolanowego w aspekcie ciągłym tj. całotniewym, a nie tylko w aspekcie chwili tj. momen-



Rysunek 8. Przykładowa pracownia systemu BTS SMART [12]

cie pomiarów. Dodatkowo urządzenie to powinno charakteryzować się wysoką czułością, dokładnością i powtarzalnością wyników a także powinno być niedużych rozmiarów, tanie w zakupie i akceptowalne przez poddanych badaniu do korzystania z niego na co dzień tak by nie utrudniało normalnego funkcjonowania.

■ BIBLIOGRAFIA

- [1] R. McRae; Kliniczne badanie ortopedyczne, Urban&Partner, Wrocław 2006, s. 202
- [2] K. Cierniewska-Gorzela: Funkcja stawu kolanowego po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego, rozprawa doktorska, UM w Poznaniu, Poznań 2010, s.14
- [3] A.I. Kapandji: Anatomia funkcjonalna stawów, Kończyna dolna, Urban&Partner, Wrocław 2020, s. 66
- [4] A. Nowakowski, T. Mazurek i inni: Podręcznik dla lekarzy specjalizujących się w ortopedii i traumatologii narządu ruchu, Exemplum, Poznań-Gdańsk 2021, s. 49
- [5] J.Kruczyński, A. Szulc: Wiktora Degi Ortopedia i Rehabilitacja, PZWL, Warszawa 2016, s. 52
- [6] ibidem, s. 52-53
- [7] J.Szczehowicz: Pomiary kątowe zakresu ruchu zapisy pomiarów metoda SFTR, AWF w Krakowie, Kraków 2011, s. 15
- [8] S.T. Canale, J.H. Beaty: Campbell Ortopedia operacyjna, Medipage, Warszawa 2015, s. 372
- [9] A. Straburzyńska-Lupa, G. Straburzyński: Fizjoterapia, PZWL, Warszawa 2003
- [10] S. Stiler i inni: Porównanie pomiaru zakresu ruchu mierzonego za pomocą autorskiej aplikacji mobilnej oraz goniometru tradycyjnego, Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna, vol. 22, nr 2, 2016, s.64
- [11] ibidem, s. 69
- [12] <https://technomex.pl/sprzet-diagnostyczny/analiza-ruchu/bts-smart#pretty-Photo>