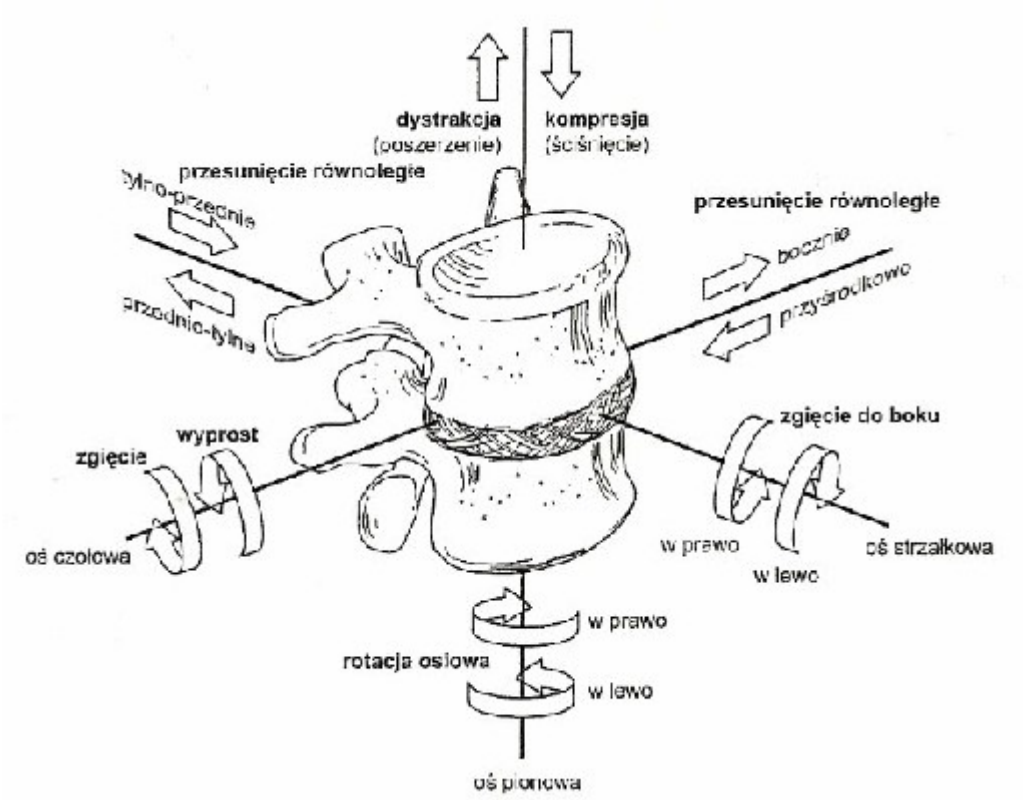
1.1 Kinematyka i kinetyka okolicy lędźwiowo-miedniczno-biodrowej

W związku z tym, iż zarówno pojęcie „kinematyka” jak i „kinetyka” wykorzystywane są często w kinezjologii, jak również oba te pojęcia określają ruch, wymagają one wyjaśnienia różnicy pomiędzy nimi. Kinematyka zajmuje się ruchem ciała bez uwzględniania sił działających na ciało, natomiast kinetyka bada wpływ sił na ruch przedmiotu. W stosunku do organizmu człowieka wyróżniamy osteo-, artro- i mio-kinematykę oraz analogicznie osteo-, artro- i mio-kinetykę [1, 8].

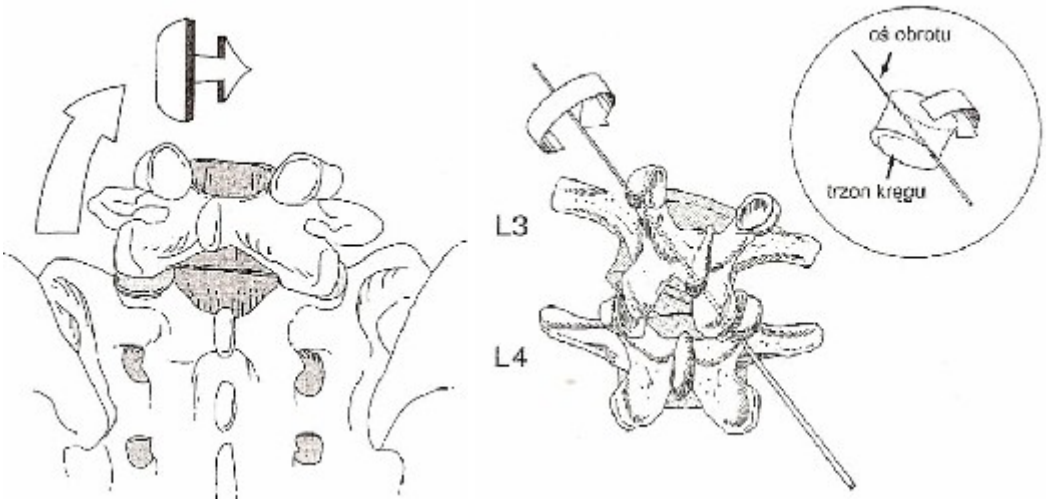
1.1.1 Kinematyka lędźwiowego odcinka kręgosłupa

Z mechanicznego punktu widzenia każdy kręg lędźwiowy posiada 12 teoretycznych stopni swobody. Ruchy mogą odbywać się w trzech płaszczyznach i wokół trzech osi. Wokół osi obserwujemy zgięcie/wyprost (oś czołowa), zgięcie boczne w lewo/zgięcie boczne w prawo (oś strzałkowa) oraz rotację w lewo/rotację w prawo (oś podłużna). Natomiast ruchy wzdłuż osi to przesunięcie równoległe bocznie/przesunięcie równoległe przyśrodkowo (oś czołowa), translacja tylno-przednia/translacja przednio-tylna (oś strzałkowa) oraz dystrakcja/kompresja (oś podłużna). Oczywiście model ten nie uwzględnia czynników anatomicznych, które modyfikują ruch teoretycznie możliwy (ryc.19) [1, 8].



Ryc.19 Dwanaście teoretycznych stopni swobody kręgu lędźwiowego. Osie i ruchy w nich zachodzące. Praktycznie połączenie krzyżowo-lędźwiowe wydaje się posiadać 4 stopnie swobody. Zgięcie skojarzone z tylno-przednią translacją i wyprost skojarzony z przednio-tylną translacją dają pierwsze 2 stopnie swobody. Ten skojarzony ruch kręgosłupa lędźwiowego zachodzi podczas jego zginania i wyprostu. Wraz ze zgięciem dochodzi do tylno-przedniej translacji kręgu (około 1–3 mm). To powoduje, że oś dla kątowego ruchu zginania podczas jego wykonywania jest ruchoma i przemieszcza się do przodu. Podczas wyprostu następuje sytuacja odwrotna (ryc.20) [8].

Zgięcie boczne w prawo/rotacja skojarzone z przyśrodkowo-boczną translacją oraz zgięcie boczne w lewo/rotacja skojarzone z przyśrodkowo-boczną translacją dają kolejne 2 stopnie swobody. Wiadomo powszechnie, że zgięciu bocznemu zawsze towarzyszy rotacja. Kwestią sporu jest jej kierunek. Z przeprowadzonych badań (Pearcy i Tibrewal 1984) wynika, że poziom L5/S1 zawsze rotuje się zgodnie z kierunkiem zgięcia bocznego. Poziomy powyżej L4/L5 rotują się w stronę przeciwną do zgięcia bocznego, natomiast poziom L4/L5 uznano za przejściowy, który raz rotuje się jak segmenty leżące poniżej, a raz jak segmenty leżące powyżej (ryc.21) [8].



Ryc.21 A – Poziom L5/S1. Ruch zgięcia tułowia w prawo powoduje zgięcie boczne kręgu L5 w prawo i jego rotację w prawo [8]. B – Ten sam ruch tułowia na poziomie L3/L4 powoduje zgięcie boczne kręgu w prawo i jego rotację w lewo [8].

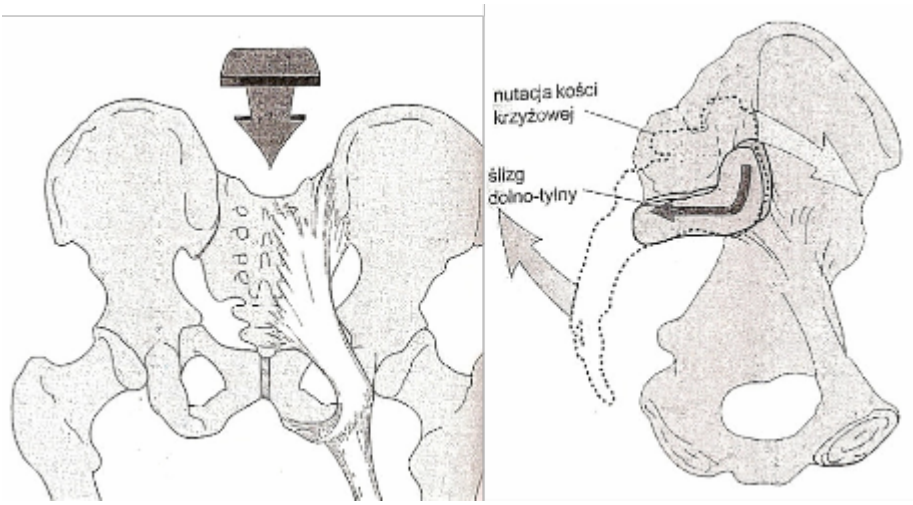
Wyżej wymienione badania były przeprowadzane w pośredniej pozycji kręgosłupa, co powoduje brak analizy, jak kręgi rotowały się podczas zgięcia do boku w pozycji zgięciowej lub wyprostnej kręgosłupa. Według Bogduka czysta rotacja osiowa lędźwiowego segmentu ruchowego jest możliwa jedynie do około 3 stopni (najmniejsza na przejściu lędźwiowo-krzyżowym, stopniowo zwiększająca się im wyższy segment lędźwiowy). Po przekroczeniu ~3° rotacji początkowa oś ruchu przebiegająca pionowo przez tylną część trzonu kręgowego przemieszcza się do stawu międzykręgowego po stronie przeciwnej do rotacji (staw ten znajduje się w kompresji, natomiast torebka przeciwnego jest rozciągana). Teraz kręg leżący powyżej obraca się względem tej osi w kierunku tylno-bocznym jeszcze powiększając kompresję jednego stawu i rozciąganie torebki drugiego. Dalszy ruch może powodować uraz. Bogduk zgadza się z wynikami badań przedstawionymi powyżej, jednocześnie zaznaczając, że występują indywidualne odrębności, które zaprzeczają istnieniu jakichkolwiek zasad ruchomości odcinkowej. Mnogie badania nad tą ruchomością potwierdzają, że zmienia się ona pod wpływem wielu czynników m.in. wieku i procesów zwyrodnieniowych (Farfan 1986, Panjabi, White 1978, Gilmore 1986). Dlatego nawet jeśli w przyszłości biomechanika odcinka lędźwiowego zostanie rozstrzygnięta, to wielość czynników wpływających na jej zmianę powoduje, że dokładne badanie kliniczne pacjenta staje się najprostszym i najlepszym sposobem oceny klinicznej tego odcinka mimo braku obiektywności [8]. Rozwiązaniem powyższego problemu wydaje się być stwierdzenie, że jest on niemożliwy do rozwiązania.

1.1.2 Kinematyka obręczy biodrowej

Ruchy miednicy należy podzielić na:

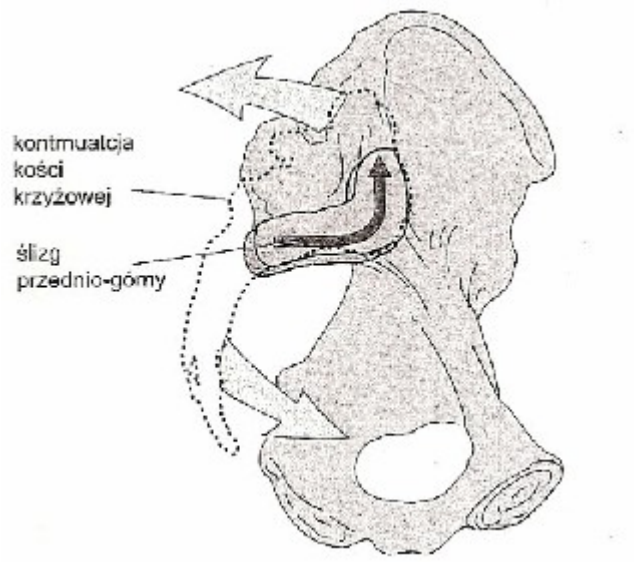
- Samoistną ruchomość miednicy, która zachodzi we wszystkich trzech płaszczyznach ciała (miednica porusza się jako całość) [8].
- Wewnętrzną ruchomość miednicy możliwą dzięki ruchomości w stawach krzyżowo-biodrowych i spojeniu łonowym.

Badania potwierdziły, że ruchomość w stawach krzyżowo-biodrowych (SKB) to około 1,8° rotacji i 0,7 mm translacji u mężczyzn oraz 1,9° rotacji i 0,9 mm translacji u kobiet. Specyfika ruchu odbywającego się w tych stawach spowodowała, że przyjęto określanie zgięcia kości krzyżowej względem biodrowej jako nutację, natomiast przeciwny ruch wyprostu jako kontrnutację. Podczas nutacji wzgórek kości krzyżowej porusza się w przód, do środka miednicy wokół osi czołowej. Następuje ślizg ku dołowi i do tyłu (amplituda ruchu ślizgowego wynosi około 2 mm, jednak jest możliwa do zbadania palpacyjnie). Ruch ten ograniczany jest przez więzadło międzykostne oraz krzyżowo-guzowe, a także przez kształt kości krzyżowej i nierówności powierzchni stawowej (ryc.22). Fizjologicznie ruch ten zachodzi np. podczas unoszenia się z pozycji leżenia na wznak do pozycji stojącej (obustronnie) lub podczas unoszenia nogi w pozycji stojącej po stronie nogi uniesionej (jednostronnie) [8].



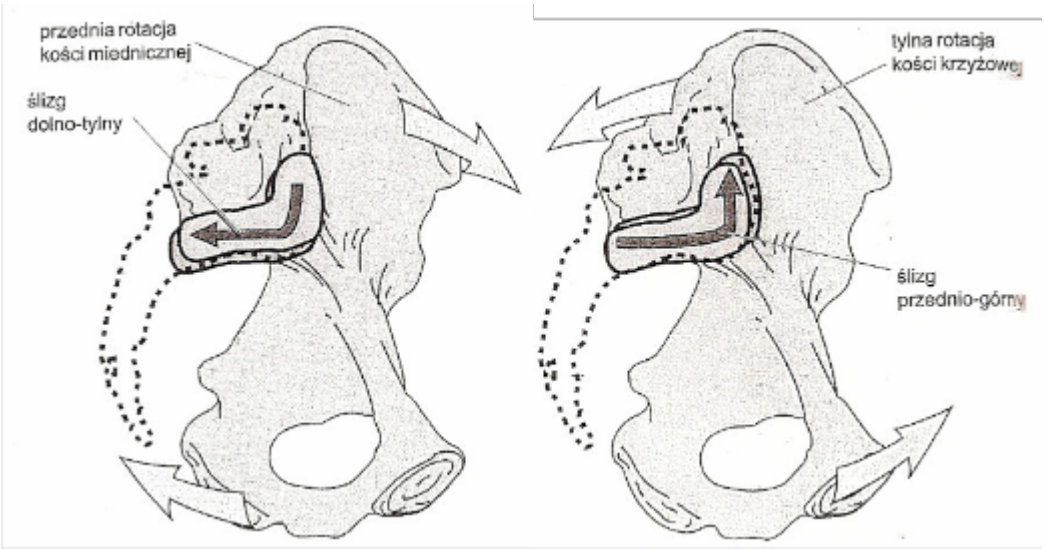
Ryc.22 Ruch nutacji kości krzyżowej. Ruch ten ograniczony jest przez więzadło międzykostne i krzyżowo-guzowe. Podczas tego ruchu kość krzyżowa ślizga się w dół i w tył [8].

Podczas kontrnutacji następuje ruch wzgórka do tyłu wokół osi czołowej, kość krzyżowa ślizga się do przodu i ku górze, co ogranicza więzadło międzykostne wspomagane przez mięsień wielodzielny (ryc.23) [8].



Ryc.23 Ruch kontrnutacji kości krzyżowej ślizgającej się w przód i w górę [8].

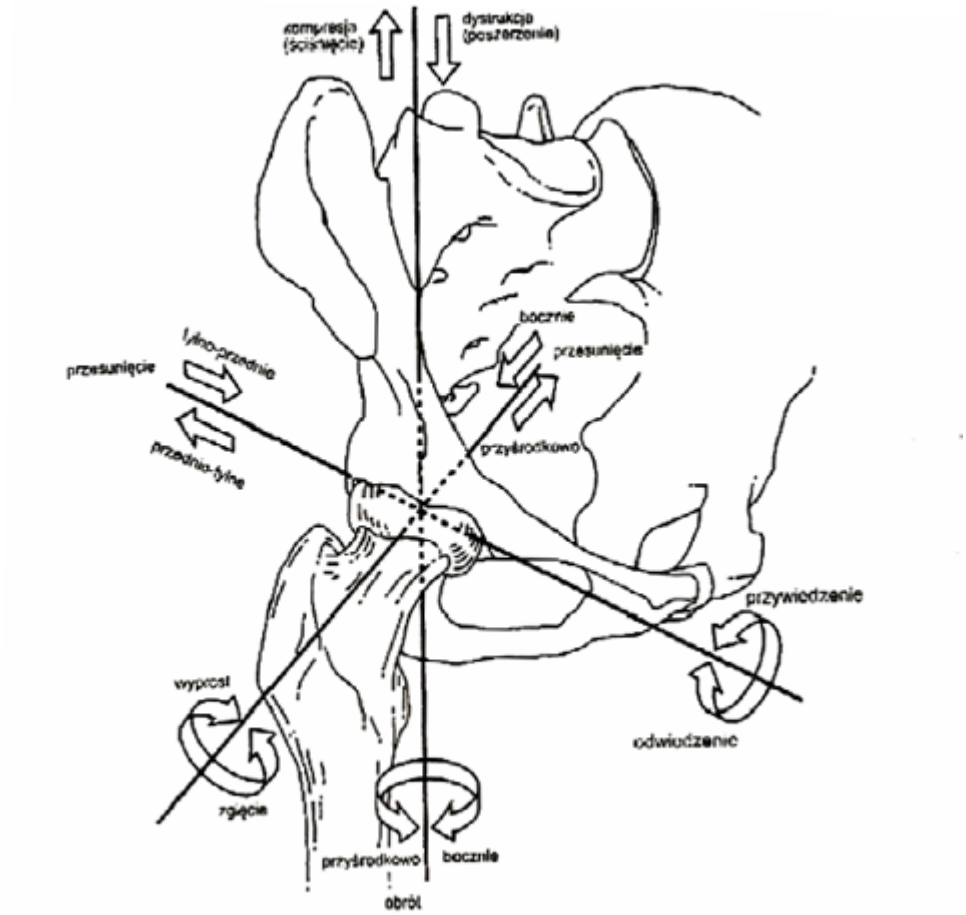
Omawiany ruch występuje obustronnie podczas leżenia na wznak, a jednostronnie podczas wyprostu kończyny dolnej po tej stronie. Również w stosunku do ruchomości kości miednicznej w SKB przyjęto specyficzne nazwy ruchów: rotacja przednia kości miednicznej – kość ta ślizga się ku górze i w przód (ruch ten odpowiada kontrnutacji kości krzyżowej), oraz rotacja tylna kości miednicznej – kość ślizga się ku dołowi i w tył (ruch ten odpowiada nutacji kości krzyżowej) (ryc.24) [8].



Ryc.24 Rotacja przednia i tylna kości miednicznej. Po lewej: ruch przedniej rotacji kości miednicznej odpowiadający ruchowi kontrnutacji kości krzyżowej. Po prawej: ruch tylnej rotacji kości miednicznej odpowiadający ruchowi nutacji kości krzyżowej [8].

1.1.3 Kinematyka stawu biodrowego

Staw ten łączy kość udową z miednicą. Jest to staw sferyczny, panewkowy i z mechanicznego punktu widzenia posiada 12 stopni swobody (nie uwzględniając barier anatomicznych) (ryc.25) [8].



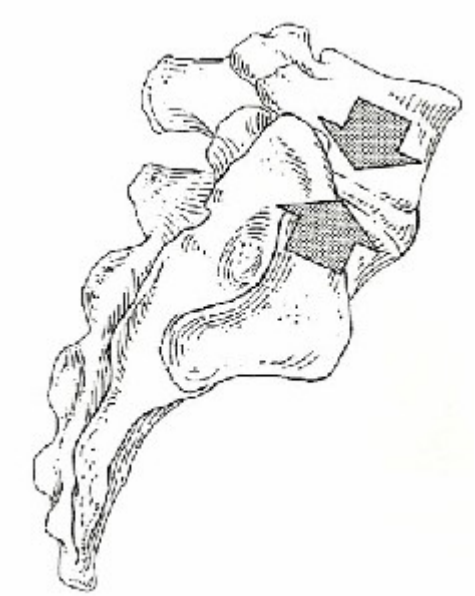
Ryc.25 Dwanaście teoretycznych stopni swobody stawu biodrowego. Osie i ruch w nich zachodzące.

Pod względem artrokinematyki normalny ruch kości udowej względem miednicy nie jest ruchem czystym (ruch w jednej osi) lecz ruchem kombinowanym. Podczas chodu następuje zgięcie, przywiedzenie i rotacja zewnętrzna (faza przenoszenia) oraz wyprost, odwiedzenie i rotacja wewnętrzna (faza podporu). Na przykładzie ruchu kości udowej w stawie biodrowym można przybliżyć zależność osi ruchu od punktu stabilności (punktum fixum). Kiedy punktem stabilnym układu jest stopa, miednica obraca się wokół głowy kości udowej, a oś podłużna tego ruchu przebiega od środka głowy kości udowej do jej kłykcia bocznego. Natomiast jeśli punktem stabilności jest miednica, wtedy kość udowa

może posiadać wiele osi długich [8].

1.1.4 Kinetyka kręgosłupa lędźwiowego

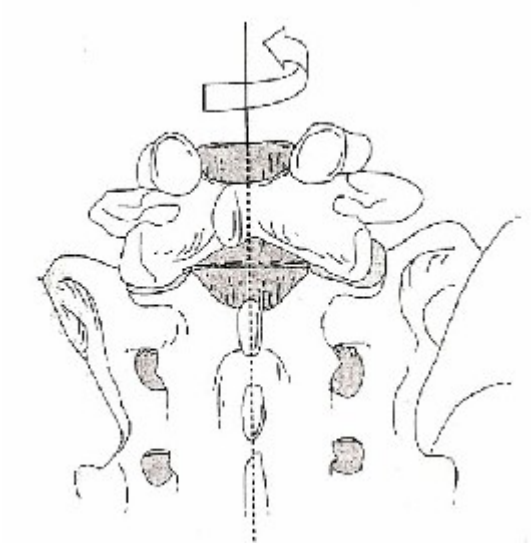
Funkcją kręgosłupa lędźwiowego pod względem analizy kinetycznej jest przeciwstawianie się ściskaniu, skręcaniu i tylno-przedniemu ślizgowi. Możliwe to jest dzięki prawidłowej budowie anatomicznej tej okolicy oraz mechanizmowi stabilności opisanym powyżej [8, 11]. Odcinek lędźwiowy podlega kompresji (ściskaniu), gdy dwie siły działają przeciwstawnie wobec siebie (ryc.26).



Ryc.26 Kompresja trzonów kręgów na poziomie L5/S1 [8].

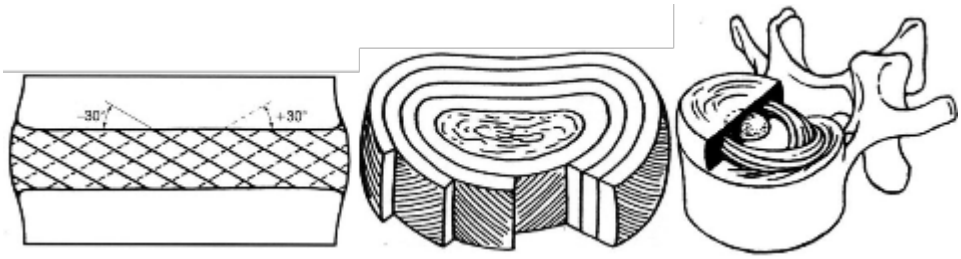
W segmencie ruchowym odcinka lędźwiowego główny opór sile ściskającej stawia układ trzon kręgu/krążek międzykręgowy (około 80% lub więcej), pozostałe ~20% obciążenia przenoszone jest przez stawy międzykręgowe, jednak jest to zależne od stopnia lordozy. Spowodowane to jest pionową orientacją powierzchni stawowych stawów międzykręgowych. Większy udział w przenoszeniu obciążenia stawy te mają podczas wyprostu kręgosłupa lędźwiowego, kiedy to dolny wyrostek stawowy kręgu leżącego powyżej wywiera kompresję osiową w stawie. Warto zauważyć, że strukturą, która jako pierwsza poddaje się przeciążeniom kompresyjnym jest chrząstka szklista blaszki granicznej. Jest ona więc słabsza od jej obwodowych części, a także od jądra miażdżystego i pierścienia włóknistego [8, 11]. Można to zinterpretować jako mechanizm obronny, gdzie przy zbyt dużych obciążeniach zniszczeniu ulega blaszka graniczna, a nie pierścień włóknisty.

Skręcanie w odcinku lędźwiowym następuje, gdy trzon obraca się wokół pionowej osi przebiegającej przez jego środek (ryc.27).



Ryc.27 Skręcanie osiowe kręgu L5 [8].

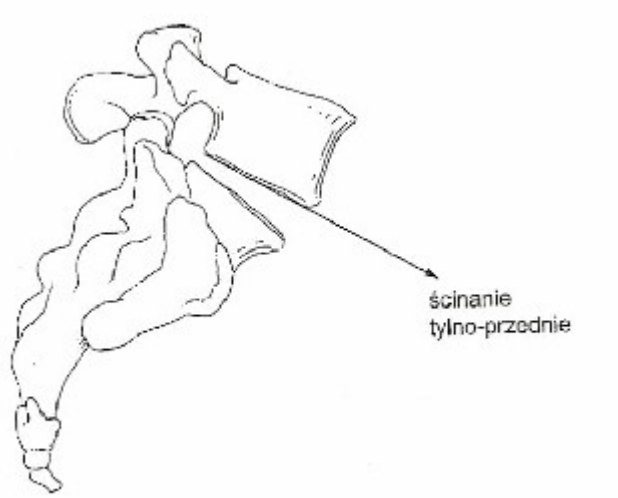
Sile tej przeciwstawiają się struktury anatomiczne w obrębie łuku kręgowego oraz układ trzon kręgu/krążek międzykręgowy [8, 11]. Warstwowa budowa pierścienia włóknistego oraz ułożenie włókien kolagenowych w poszczególnych warstwach pod kątem około 90° w stosunku do poprzedniej warstwy powoduje, że struktura ta skutecznie opiera się sile na nią działającej (ryc.28) [12].



Ryc.28 Warstwowa budowa pierścienia włóknistego [7].

Strukturą, która istotnie wpływa na przeciwstawianie się sile skręcającej w połączeniu lędźwiowo-krzyżowym i całym odcinku lędźwiowym jest więzadło biodrowo-lędźwiowe. Istotna jest również długość wyrostka poprzecznego kręgu L5, do którego więzadło się przyczepia. Im jest on dłuższy, tym więzadło ma większą zdolność do przeciwstawiania się sile skręcającej, działając na większej dźwigni [8]. Jednak aby odcinek lędźwiowy był skutecznie stabilizowany podczas wykonywania ruchów rotacyjnych potrzebna jest również czynna stabilizacja, opisana poniżej.

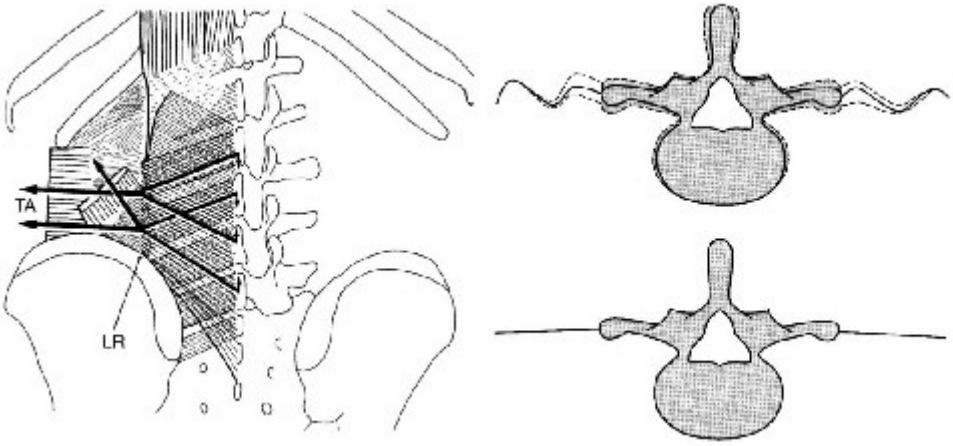
Kolejnym rodzajem siły działającej na omawianą okolicę jest siła ścinająca (tylno-przednie ścinanie). Do ścinania dochodzi, gdy dwie przyłożone siły powodują przesuwanie dwóch płaszczyzn względem siebie. Siła ścinająca działająca na odcinek lędźwiowy usiłuje przemieścić górny krąg do przodu względem kręgu leżącego poniżej (przesunąć w kierunku tylno-przednim) (ryc.29) [8].



Ryc.29 Tylno-przednie ścinanie na poziomie L5/S1 [8].

Strukturami anatomicznymi, które opierają się tej sile są wyrostki stawowe dolne i górne (wyrostki stawowe dolne wklinowują się w wyrostki stawowe górne kręgu leżącego poniżej). Na poziomie L5/S1 sile tej opiera się także więzadło biodrowo-lędźwiowe. Jednak podczas dużego obciążenia oraz w dynamice, w odcinku lędźwiowym mogą pojawić się również siły ścinające przednie (przednio-tylne). Wtedy stabilizacja odcinka lędźwiowego wymaga połączenia ryglowania samoistnego (przez strukturę) oraz ryglowania wymuszonego (działanie mięśni). Mechanizm stabilizujący musi tak rozłożyć siły ściskające i ścinające działające na układ, aby nie przekraczały one wytrzymałości stawów i struktur je otaczających.

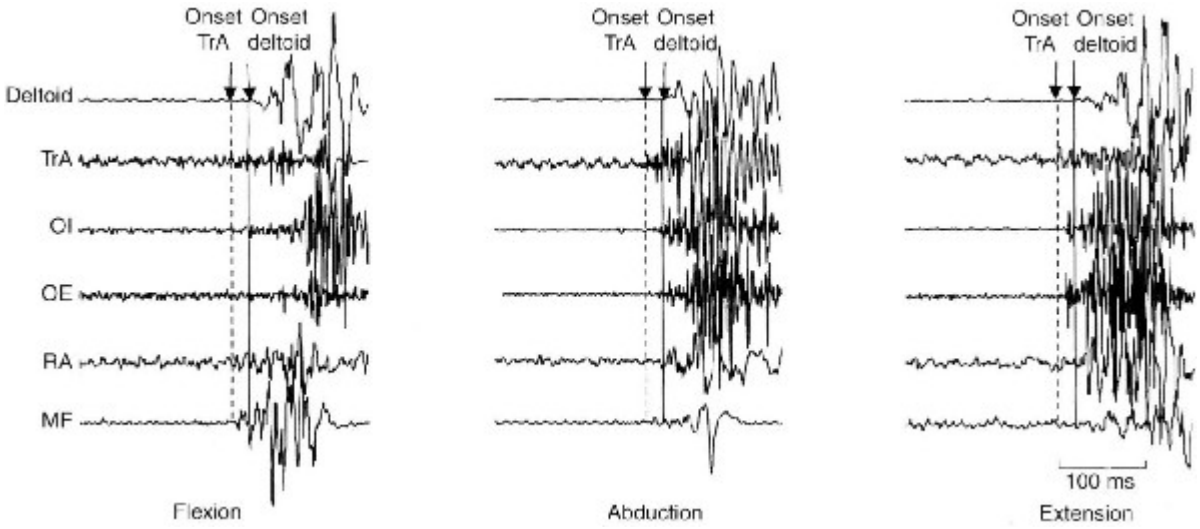
Elementy, które odgrywają zasadniczą rolę w tym mechanizmie to powięź piersiowo-lędźwiowa oraz mięśnie ją napinające/pod jej wpływem napinane. Dzięki bezpośrednim połączeniom mięśnia poprzecznego brzucha zarówno z blaszką powierzchowną jak i warstwą środkową powięzi piersiowo-lędźwiowej oraz z wyrostkami poprzecznymi wszystkich kręgów lędźwiowych, jest to mięsień, który posiada korzystne warunki dla uzyskania napięcia ograniczającego ścinanie, rotację i translację kręgów lędźwiowych (ryc.30) [8, 13].



Ryc.30 A – schemat napięcia brzegu bocznego powięzi piersiowo-lędźwiowej (LR) przez mięsień poprzeczny brzucha (TrA). B – model kontroli ruchomości kręgu lędźwiowego przez napięcie mięśnia poprzecznego brzucha i powięzi piersiowo-lędźwiowej [13].

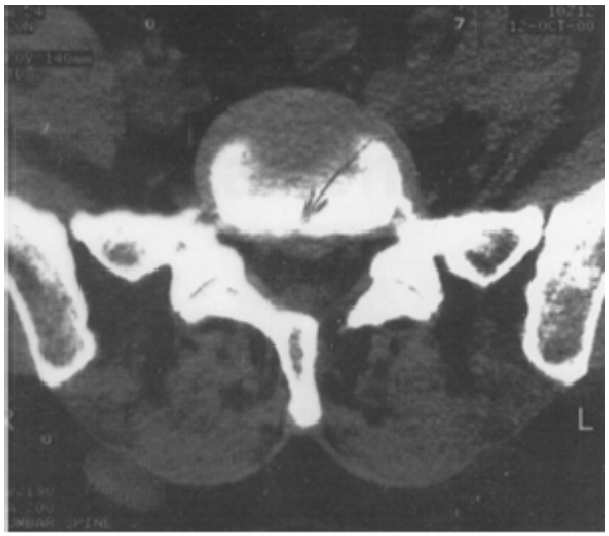
Gracovetsky i Farfan odkryli, że „dla każdego obciążenia, dla minimalnego, skompensowanego napięcia jest uprzywilejowana strefa stabilna w odniesieniu do sytuacji, w której moment siły będzie zrównoważony w trzech równych częściach przez układ mięśniowy, pośrodkowy układ więzadłowy i mięśnie brzucha za pośrednictwem powięzi piersiowo-lędźwiowej” [8].

Badania przeprowadzone w ostatnim czasie (Hodges i Richardson 1996) pokazują, że mięsień poprzeczny brzucha jest jednym z kluczowych mięśni stabilizujących kręgosłup lędźwiowy. Powięź piersiowo-lędźwiowa jest ściśle z nim powiązana i wzmacnia skurcz mięśnia poprzecznego brzucha oraz mięśnia wielodzielnego. Badanie Hodgesa i Richardsona wykazało, że przed jakimkolwiek ruchem kończyną górną lub dolną najpierw następuje pobudzenie mięśnia poprzecznego brzucha oraz mięśnia wielodzielnego, a dopiero później zaplanowany ruch. Elektromiograficzny zapis aktywności mięśni podczas ruchów kończyną górną wyraźnie pokazuje, że zanim nastąpi skurcz mięśnia naramiennego wprowadzającego dany ruch, następuje aktywacja mięśnia poprzecznego brzucha i mięśnia wielodzielnego w celu ustabilizowania kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego [8,13]. Dopiero po uzyskaniu tej centralnej stabilizacji może zostać bezpiecznie wprowadzony ruch na obwodzie. Taka strategia organizmu dotyczy każdego ruchu. Jeśli mechanizm centralnej stabilizacji jest niewydolny, często objawia się to bólem w odcinku lędźwiowym kręgosłupa (ryc.31).



Ryc.31 Elektromiograficzny zapis aktywności mięśni. Kolejność pobudzania w czasie podczas wykonywania ruchu. Flexion – zgięcie, abduction – odwodzenie, extension – wyprost kończyny górnej. Deltoid – mięsień naramienny, TrA – mięsień poprzeczny brzucha, OI – mięsień skośny wewnętrzny brzucha, OE – mięsień skośny zewnętrzny brzucha, RA – mięsień prosty brzucha, MF – mięsień wielodzielny. Onset – początek aktywności mięśnia [13].

Hodges i Richardson (1996) zbadali również, że u pacjentów z przewlekłym „bólem krzyża" znacznie zaburzona jest kontrola motoryczna głównie mięśnia poprzecznego brzucha, a mięsień wielodzielny jest atroficzny z licznymi procesami włóknienia i bliznowacenia (ryc.32) [8, 13].



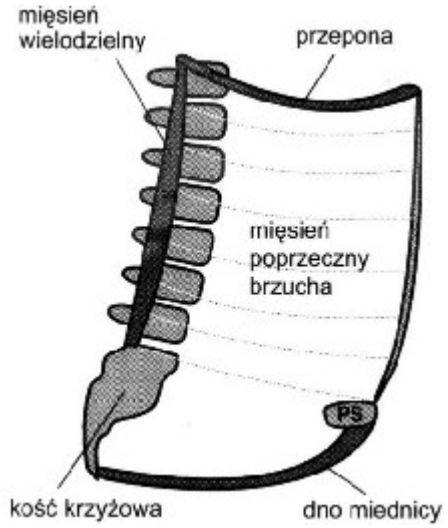
Ryc.32 Obraz tomografii komputerowej pacjenta z przewlekłymi dolegliwościami bólowymi lędźwiowego odcinka kręgosłupa. Wyraźnie widoczne są większe zmiany

włóknienia i bliznowacenia po lewej stronie pacjenta (po prawej na zdjęciu). Zdrowa, zdolna do skurczu tkanka mięśniowa ma odcień szary, tkanka niezdolna do skurczu jest czarna [13].

1.1.5 Kinetyka obręczy biodrowej

Mięśnie stabilizujące obręcz biodrową (okolicę lędźwiowo-miedniczno-biodrową) można podzielić na dwie grupy: grupę wewnętrzną i grupę zewnętrzną, z czterema układami: tylnym skośnym, podłużnym głębokim, przednim skośnym i bocznym [8].

Grupa wewnętrzna składa się z mięśnia dźwigacza odbytu połączonego z mięśniami brzucha, mięśnia wielodzielnego i przepony (ryc.33) [8].



Ryc.33 Mięśnie grupy wewnętrznej. Mięsień wielodzielny, poprzeczny brzucha, mięśnie dna miednicy i przepona [8].

Sapsford przeprowadził badania (1998) dotyczące współdziałania czterech części mięśnia dźwigacza odbytu oraz mięśni brzucha. Badania te potwierdziły hipotezę, że skurcz jednej grupy powoduje aktywację drugiej i odwrotnie. Sapsford uważa, że mięsień łonowo-guziczny ma skłonność do skurczu z mięśniem poprzecznym brzucha, a biodrowo-guziczny i kulszowo-guziczny ze skośnymi brzucha. Napięcie tych mięśni pozwala na kontrolę ustawienia kości krzyżowej. Obustronny skurcz mięśnia biodrowo-guzicznego ustala kość krzyżową w kontrnutacji, natomiast skurcz mięśnia wielodzielnego utrzymuje kość krzyżową w kontrnutacji. Odpowiednia kokontrakcja mięśnia dźwigacz odbytu oraz mięśnia wielodzielnego powoduje ryglowanie wymuszone i prawidłowe ustawienie podstawy kręgosłupa. Utrzymanie tego ustawienia wspomaga mięsień poprzeczny brzucha napinając z boku powięź piersiowo-lędźwiową, co przyczynia się do wzrostu ciśnienia śródbrzusznego i stabilizacji odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Dzieje się tak

dzięki bezpośrednim połączeniom mięśnia poprzecznego brzucha zarówno z blaszką powierzchowną jak i głęboką powięzi piersiowo-lędźwiowej oraz z wyrostkami poprzecznymi wszystkich kręgów lędźwiowych. To pozwala na uzyskanie napięcia ograniczającego rotację i translację kręgów lędźwiowych [8, 13].

Grupa zewnętrzna mięśni stabilizujących obręcz biodrową działa lokalnie, regulując bardzo dokładnie w zakresie ślizgu rzędu 1–2 mm wzajemne ułożenie kości krzyżowej i miednicznej względem siebie. Natomiast silne układy grupy zewnętrznej działają globalnie, utrzymując to ustawienie w statyce i w dynamice. Lee wyróżniła 4 układy mięśniowo-powięziowe należące do grupy zewnętrznej stabilizującej miednicę. Myers, nie zajmując się rolą stabilności miednicy, opisuje przebieg taśm mięśniowych tłumacząc wzajemne zależności pomiędzy strukturami anatomicznymi leżącymi w różnych częściach ciała. Cztery układy w większej części pokrywają się z odpowiednimi taśmami mięśniowymi. W dalszej części pracy pojęcia te będą używane zamiennie. Układy grupy zewnętrznej, poszerzone o elementy uwzględnione przez Myersa zostaną przedstawione w rozdziale opisującym staw krzyżowo-biodrowy i spojenie łonowe.

1.1.6 Kinetyka stawu biodrowego

Staw biodrowy podczas swojej normalnej aktywności poddawany jest obciążeniom, których wartość wielokrotnie przekracza ciężar ciała. Do jego stabilności przyczynia się konfiguracja anatomiczna stawu, kierunek przebiegu beleczek kostnych, wytrzymałość i ukierunkowanie torebki stawowej i więzadeł oraz siła okołostawowych mięśni i powięzi [8].

Piśmiennictwo

1. Błaszczyk W.: „Biomechanika kliniczna. Podręcznik dla studentów medycyny i fizjoterapii”. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 2004.
2. Bochenek A., Reicher M.: „Anatomia człowieka. Tom I. Anatomia ogólna, kości, stawy i więzadła, mięśnie”. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 2006.
3. Gnat R., Saulicz E., Kokosz M., Kuszewski M.: „Biomechaniczne aspekty nowoczesnych modeli stabilizacji miednicy. Część I: staw krzyżowo-biodrowy i mechanizm autoryglowania”. „Fizjoterapia Polska”, 2006, 6, 280–288.
4. Gnat R., Saulicz E., Kokosz M., Kuszewski M.: „Biomechaniczne aspekty nowoczesnych modeli stabilizacji miednicy. Część II: spojenie łonowe i przednia ukośna taśma mięśniowa”. „Fizjoterapia Polska”, 2006, 6, 328–333.
5. Gnat R., Saulicz E., Kuszewski M.: „Współczesne poglądy na temat systemów stabilizacyjnych kompleksu biodrowo-miedniczno-lędźwiowego”. „Fizjoterapia”, 2006, 14, 3, 68–81.

6. Gnat R., Saulicz E., Kuszewski M.: „Zaburzenia funkcjonowania systemów stabilizacyjnych kompleksu biodrowo-miedniczno-lędźwiowego". „Fizjoterapia", 2006, 14, 3, 83–91.
7. Jorritsma W.: „Anatomia na żywym człowieku. Wstęp do terapii manualnej". Urban & Partner, Wrocław, 2004.
8. Lee D.: „Obręcz biodrowa". DB Publishing, 2001.
9. Lee D.: „Principles of the Integrated Model of Function and its Application to the Lumbopelvic-hip Region". http://dianelee.ca/articles/articles.php
10. Myers T. W.: „Anatomy Trains. Myofascial Meridians for Manual and Movement Therapists". Churchill Livingstone, 2001.
11. Oatis C. A.: „Kinesiology. The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement". Lippincott Williams & Wilkins, 2004.
12. Perry J.: „Gait Analysis: Normal and Pathological Function". Slack Inc., 1992.
13. Richardson C., Hodges P., Hides J.: „Therapeutical Exercise for Lumbopelvic Stabilization. A Motor Control Approach for the Treatment and Prevention of Low Back Pain". Churchill Livingstone, 2004.

Przygotował: Bartosz Kmita