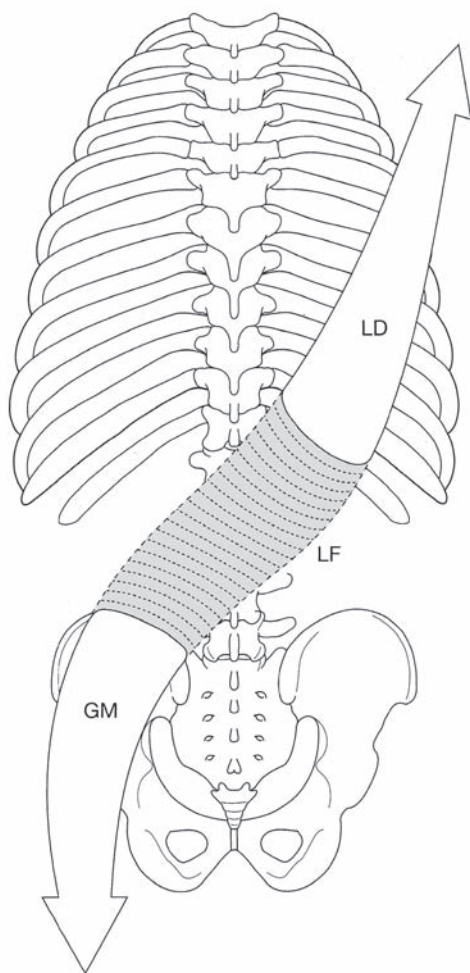




**Ryc. 10.15** Powięź lędźwiowo-grzbietowa (LF) formuje mechaniczne połączenie pomiędzy mięśniem pośladkowym wielkim (GM) po jednej stronie ciała a mięśniem najszerzym grzbietu (LD) strony przeciwnej. Siła, przenoszona skośnie przez miednicę, będzie ścisnęła powierzchnię lewostronnego stawu krzyżowo-biodrowego ku sobie. W ten sposób obustronny efekt tego połączenia może mieć stabilizujący wpływ na stawy krzyżowo-biodrowe poprzez mechanizm zwany „zwarciem siłowym”.<sup>1182</sup>

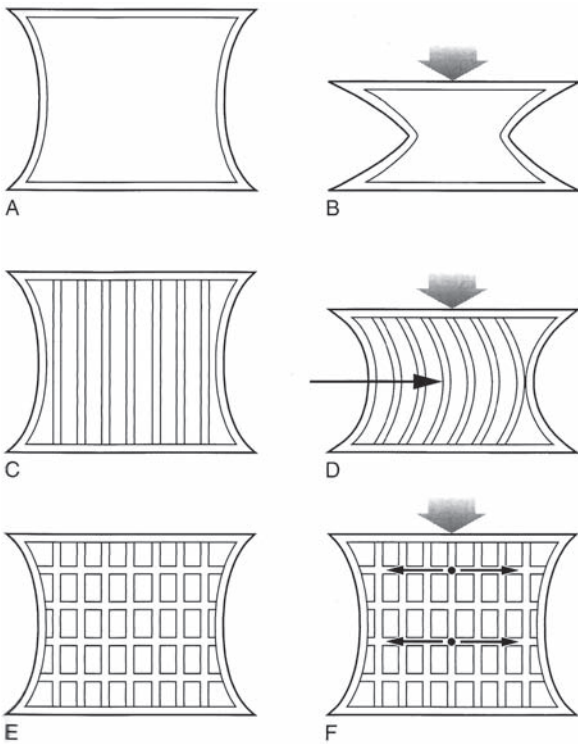
niem łonowym pozwalają także na niewielką, relatywną ruchomość lewej i prawej kości miednicznej, a to mogłoby przynieść istotną korzyść w czasie porodu, kiedy ich ruchomość zwiększona jest w wyniku rozluźnienia więzadłowego. Poza tym nie wiadomo, jakiemu celowi mechanicznemu służą stawy krzyżowo-biodrowe, lecz powstały na ten temat różne teorie. Stawy krzyżowo-bio-

drowe mogą odgrywać pewną rolę w absorpcji wstrząsów,<sup>50</sup> lecz są one zbyt sztywne, by przejąć dużą dawkę energii z naprężenia. Podczas chodu większość absorpcji wstrząsów zachodzi w więzadłach mięśni goleni i stopy.<sup>50</sup> Jednak nawet niewielka zdolność pochłaniania wstrząsów może być korzystną funkcją ochronną integralności obręczy miednicznej, jeśli poddana została bezpośredniemu uderzeniu, prawdopodobnie podczas upadku na pośladki lub biodra.

Istnieje też możliwość, że niewielka ruchomość stawów krzyżowo-biodrowych może w pewien sposób ułatwiać poruszanie się, lecz trudno sobie wyobrazić, by kilka dodatkowych stopni ruchu mogło stanowić dużą korzyść mechaniczną dla kości, których pozostałe części połączone są z bardzo mobilnymi stawami, jak staw biodrowy czy połączenie lędźwiowo-krzyżowe.

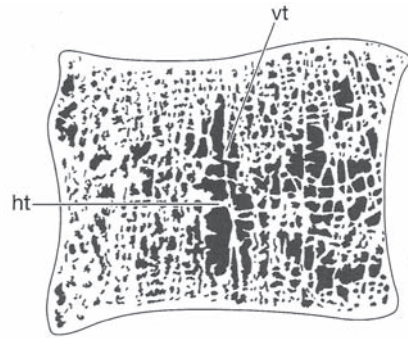
U młodych osób powierzchnie stawowe są dość płaskie, lecz wraz z wiekiem dochodzi do powstania fali-  
stych nierówności, które na siebie nachodzą (Ryc. 10.14). Powstające zmiany anatomiczne w znaczący sposób zwiększają odporność stawu na ruchy ścinające,<sup>1184</sup> co od pewnego czasu nazywane jest mechanizmem „zwarcia strukturalnego”.<sup>1182</sup> Wspomniane nierówności powierzchni stawowych sugerują, że niewielkie, relatywne przemieszczenia powierzchni względem siebie mogą się „zablokować”, jeśli dwa miejsca wypukłe przeciwstawiają się sobie. Blokowanie się i zsuwanie stawów krzyżowo-biodrowych nie zostało poparte badaniami naukowymi, choć istnieje rozległa ilość literatury klinicznej na ten temat. Stabilność stawu krzyżowo-biodrowego może być zwiększana przez aktywność mięśniową. Naprężenia generowane w mięśniach pośladkowych po jednej stronie ciała mogą być przenoszone skośnie na kontrlateralny mięsień najszerzy grzbietu poprzez powięź lędźwiowo-grzbietową,<sup>84,1181</sup> co ukazuje Rycina 10.15. Powstające siły skośne będą oddziaływały na staw krzyżowo-biodrowy, powodując ściśnięcie jego powierzchni, przez co mogą zwiększać jego stabilność, co nazywane jest „zwarciem siłowym”.<sup>1182</sup>

Jest to atrakcyjna hipoteza, która stara się wyjaśnić, jak powięź lędźwiowo-grzbietowa może koordynować funkcje jednych z największych mięśni ludzkiego ciała, jednocześnie zwiększając stabilność miednicy. Jednak wielkości sił oddziałujących na bierne połączenie – powięź lędźwiowo-grzbietową – nie są jeszcze znane.



**Ryc.2.2** Struktura wewnętrzna trzonu kręgu. (A, B) z osłonką z istoty korowej kości, trzon kręgu stanowi jakby pudełko zawalające się pod wpływem obciążenia. (C, D) Wewnętrzne pionowe wsporniki wiążą pudełko lecz uginają się podczas ściskania. (E) Połączenia poprzeczne przeciwdziałają uginaniu i zwiększają możliwości obciążeniowe pudełka. (F) Napięcia między połączeniami poprzecznymi stawiają opór obciążeniom. (za Bogduk <sup>124</sup>)

(Ryc. 2.2). Mimo swojej wytrzymałości powłoka ta nie jest w stanie wytrzymać obciążenia osiowego, które zwykle wywierane jest na kręgosłup lędźwiowy. Dlatego też trzony kręgów są wzmocnione od wewnątrz przez wąskie blaszki kostne zwane beleczkami (Ryc. 2.2). Belecзки mają przebieg poziomy (Ryc. 2.3). Pionowe blaszki działają jak kolumny, które przenoszą obciążenie kompresyjne z powierzchni górnej na dolną. Blasзки poziome służą wzmocnieniu blaszek pionowych, zapobiegając ich wyginaniu się pod wpływem dużego obciążenia na boki. Brak poprzecznych beleczek osłabia trzony kręgów. Bez ich wsparcia pod wpływem obciążenia, belecзки pionowe wyginają się na boki i mogą ulec złamaniu. Przy braku wsparcia ze strony beleczek pionowych otoczka korowa i cały



**Ryc.2.3** Zarys trzonu kręgu lędźwiowego w przekroju strzałkowym ukazujący obecność pionowych (vt) i poziomych (ht) beleczek.

trzon kręgu mogą później łatwo zostać zmiażdżone. Zjawisko to ma szczególne znaczenie w przebiegu osteoporozy kręgosłupa (s. 000).

## Ruchomość

Ruchy kręgosłupa lędźwiowego możliwe są dzięki obecności stawów. Główne połączenia występują pomiędzy trzonami kręgów. Stawy te nie posiadają formalnej nazwy (oprócz określenia „międzykręgowe połączenia chrzęstne”, które praktycznie nie jest używane). Stawy te jednakże można nazywać stawami międzytrzonowymi. Znajdują się one pomiędzy dolną powierzchnią jednego trzonu, a górną następnego. Każdy z nich jest stawem wtórnie chrząstkowym, gdzie trzony są oddzielone dyskami międzykręgowymi. Budowa tych stawów pozwala na ruchy zgięciowe, skrętne i ruchy ślizgu, odbywające się pomiędzy trzonami kręgowymi. Całkowita ruchomość tego odcinka kręgosłupa jest sumą poszczególnych ruchomości jego 5 stawów.

## Krażki międzykręgowe

Krażki międzykręgowe umożliwiają rozdzielenie kolejnych kręgów lędźwiowych. W ten sposób tworzy się potencjalna przestrzeń, w której trzony mogą zanurzyć się i wykonać ruchy zgięciowe. Aby rozdzielić trzony kręgów każdy dysk musi posiadać pewną wysokość. Aby umożliwić ruch, tkanka dysku musi być także pla-

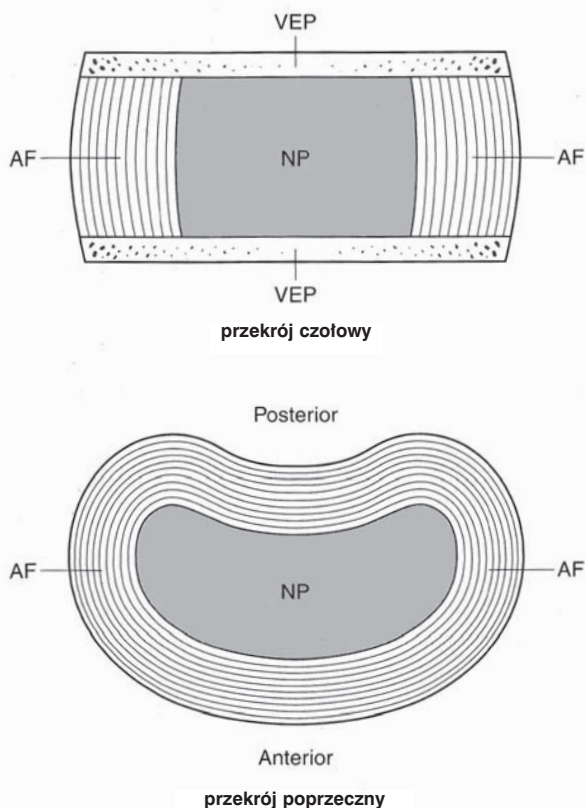
styczna. Równocześnie musi ona być sztywna i wytrzymała na obciążenia kompresyjne występujące pomiędzy dwoma kręgami. Ważnym komponentem każdego krążka międzykręgowego jest pierścień włóknisty. Składa się on z około 10-20 warstw kolagenu, zwanych blaszkami, które są ciasno upakowane we współśrodkowe kręgi dookoła zewnętrznych części dysku (Ryc. 2.4). To ciasne ułożenie daje sztywność, dzięki której blaszki mogą wytrzymać znaczne obciążenia kompresyjne. Właściwą analogią tego usztywnienia jest zwinięta w rulon, stojącą w pionie książka telefoniczna. Mimo że zbudowany z kolagenu, pierścień włóknisty jest wystarczająco plastyczny, aby ulegać odkształceniu i w związku z tym umożliwiać ruchy pomiędzy trzonami kręgów. Taka jest też rola pierścienia

włóknistego. Przy odchyleniach, sztywność pierścienia zmniejsza się, przez co zmniejsza się też oporność na obciążenie kompresyjne. I tu pomocny staje się drugi komponent dysku, jakim jest jądro miażdżyste.

Jądro miażdżyste jest uwodnionym żelem zlokalizowanym w centrum każdego dysku (Ryc. 2.4). W momencie działania siły kompresyjnej półpłynna substancja rozchodzi się radialnie. Z jednej strony jest ona ograniczona przez otaczający pierścień włóknisty, ale z drugiej rozchodzący się płyn wzmacnia pierścień od środka, zabezpieczając go przed wypukleniem się do wewnątrz i utratą sztywności. Pierścień włóknisty wraz z jądrem miażdżystym utrzymują oporność dysku na obciążenie kompresyjne, ale obydwie tkanki są na tyle plastyczne, że pozwalają na pewien zakres ruchu pomiędzy trzonami kręgów.

Trzeci komponent krążka międzykręgowego stanowią górne i dolne płytki graniczne. Są one zbudowane z chrząstki, która pokrywa górną i dolną część dysku i wiąże dysk z odpowiednim trzonem kręgu (Ryc. 2.4). Każda płytka graniczna pokrywa niemal całą powierzchnię przyległego trzonu. Tylko wąska krawędź kostna zwana wyrostkiem pierścieniowatym zlokalizowana na jego obrzeżach, nie jest pokryta przez chrząstkę. Ta część trzonu, gdzie znajduje się chrzęstna płytka graniczna nie ma formalnej nazwy, ale można mówić o niej jako o kości podchrzęstnej trzonu albo kostnej płytce granicznej. Należy jednak pamiętać, że jest to część tworząca trzon, a nie dysk międzykręgowy, tak jak chrzęstna płytka graniczna. Pomijając fakt różnic nomenklaturowych, zaburzenia mechaniczne tej okolicy dotyczą zwykle jednocześnie płytki kostnej i chrzęstnej.

Co więcej, aby umożliwić ruchy zgięciowe pomiędzy trzonami kręgów, krążki międzykręgowo pozwalają na zaistnienie ruchów skrętnych oraz ślizgu o małej amplitudzie. Napięcia powstałe we włóknach kolagenowych pierścienia włóknistego stanowią o oporze dla tych ruchów, a amplituda napięć jest funkcją elastyczności i zmienności usztywnienia pierścienia.

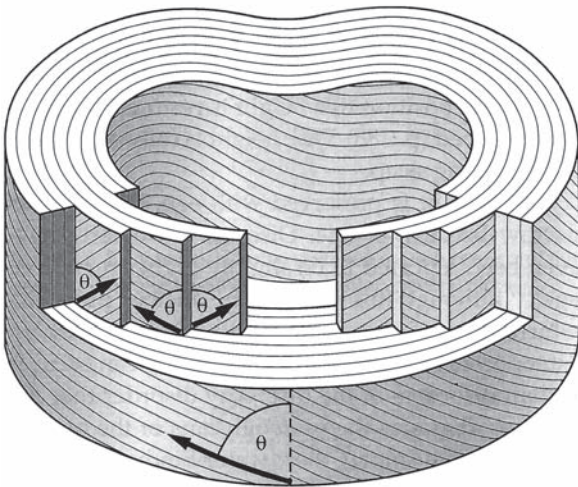


**Ryc.2.4** Podstawowe struktury lędzwiowego krążka międzykręgowego. Krążek zbudowany jest z jądra miażdżystego (NP), otoczonego przez pierścień włóknisty (AF), obie struktury usadowione są pomiędzy dwoma chrzęstnymi granicznymi blaszkami kręgowymi (VEP) (za Bogduk<sup>124</sup>)

## Mikrostruktura

Pierścień włóknisty składa się głównie z kolagenu typu I i II. Koncentracja kolagenu typu I zwiększa się

w kierunku zewnętrznych części pierścienia, zaś zawartość kolagenu typu II wzrasta do środka dysku. Rozłożenie kolagenu typu I współgra z większą plastycznością zewnętrznych części pierścienia.

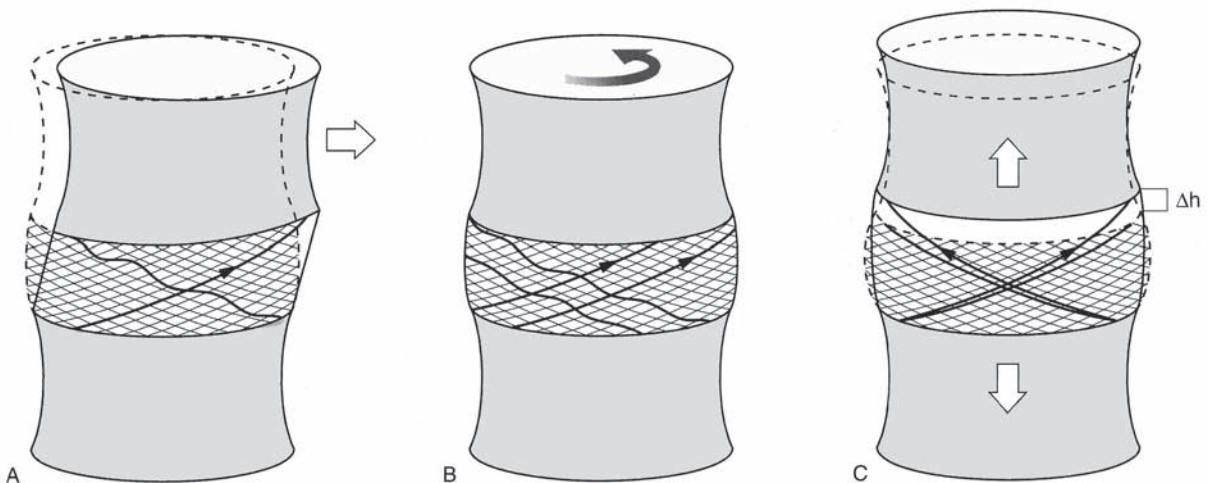


**Ryc.2.5** Architektura pierścienia włóknistego. Włókna kolagenowe układają się w 10-20 współśrodkowych, ułożonych obwodowo blaszek. Orientacja włókien zmienia się w kolejnych blaszkach ale ich orientacja w stosunku do pionu (O) jest prawie taka sama i wynosi około  $65^\circ$ . (Bogduk<sup>124</sup>)

Każda blaszka pierścienia zbudowana jest z biegnących równoległe włókien kolagenu, odchodzących w sposób ukośny od jednego trzonu kręgu do drugiego pod kątem  $65$  stopni do płaszczyzny strzałkowej. Z reguły jednak włókna w każdej kolejnej blaszce mają przeciwną orientację tak, że jedna warstwa odchyłona jest w lewo, a kolejna w prawo itd. (Ryc. 2.5). To naprzemienne ułożenie uniemożliwia rozszczelnienie pierścienia, które z kolei umożliwiłoby wyciekanie czy rozerwanie masy jądra. Ułożenie włókien stanowi sprawdzian integralności dysku, a ponadto umożliwia pierścieniowi wytrzymywanie napięć skierowanych w różnych kierunkach.

Ruchy ślizgu występujące pomiędzy trzonami będą ograniczane przez te wszystkie włókna kolagenowe, które nachylone są w kierunku ruchu (Ryc. 2.6) Podobnie ruchy skrętne ograniczone będą również przez włókna biegnące zgodnie z kierunkiem ruchu (Ryc. 2.6B). Wszystkie włókna zaś będą przyczyniać się do ograniczenia ruchów separacji trzonów kręgów (Ryc. 2.6C).

Z tego też względu właśnie włókna leżące najbardziej zewnętrznie odgrywają największą rolę w przeciwstawianiu się tym ruchom. Aby temu podołać, wokół wyrostka pierścieniowego połączone są one bez-



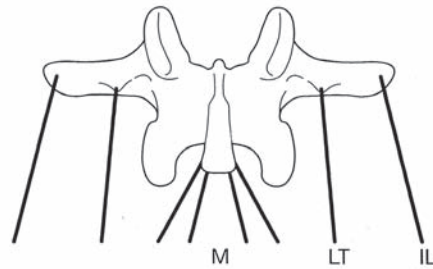
**Ryc.2.6** Mechanika pierścienia włóknistego. (A) Ruchy ślizgu występujące pomiędzy trzonami kręgów są oporowane w obrębie tych włókien pierścienia, które są nachylone w kierunku ruchu. Pozostałe włókna dzięki przemieszczaniu się ulegają rozluźnieniu. (B) Włókna wydłużające się przy ruchu stawiają opór ruchom skrętnym. Pozostałe włókna są rozluźnione. (C) Niezależnie od kierunku przebiegu włókien stawiają one opór separacji trzonów kręgów ( $\Delta h$ ) (za Bogduk<sup>124</sup>).

Mięsień ten przykrywa przednią część wyrostków poprzecznych i rozciąga się w bok, wychodząc dalej poza wierzchołki tych wyrostków (Ryc. 3.2). Większość jego włókien biegnie bezpośrednio od kości biodrowej i więzadła biodrowo-lędźwiowego do żebra dwunastego. Pozostałe włókna biegną od wyrostków poprzecznych i już wspólnie również do ostatniego żebra. W związku z tym za główną funkcję tego mięśnia uważa się stabilizację dwunastego żebra, umożliwiającą stworzenie solidnej podstawy dla pracy dolnych, pierśwowych włókien przepony.

Dodatkowe włókna mięśnia czworobocznego biegną od kości biodrowej do wyrostków poprzecznych kręgów L1-L4. Ich liczba, rozwój oraz częstość występowania są osobniczo zmienne. U części populacji występują one w dość znacznej ilości, a u części nie występują wcale. Wyłącznie te dodatkowe włókna w mięśniu czworobocznym mają wpływ na ruch zgięcia bocznego kręgosłupa lędźwiowego. Jednak siła ich oddziaływania jest w tym względzie nieznana.

## Grupa tylna mięśni grzbietu

Oprócz mięśni międzykolcowych (zob. poniżej), mięśnie należące do grupy tylnej to masywne i główne, jeśli nie jedyne, mięśnie odpowiedzialne za kontrolę ruchów kręgosłupa lędźwiowego. Mięśnie te leżą w trzech kolumnach i dwóch warstwach. Idąc od środka, trzy kolumny są tworzone przez mięśnie: wielodzielny, najdłuższy klatki piersiowej oraz biodrowo-żebrowy lędźwi. W sposób uporządkowany odchodzą one odpowiednio od wyrostków kolczystych, wyrostków dodatkowych oraz wyrostków poprzecznych kręgów odcinka lędźwiowego (Ryc. 3.3). Mięsień najdłuższy klatki piersiowej oraz mięsień biodrowo-żebrowy lędźwi zbudowane są z dwóch części. Części głębsze każdego z mięśni odchodzą od kręgów lędźwiowych i leżą w tej samej płaszczyźnie, co mięsień wielodzielny, podczas gdy ich warstwy powierzchowne biorą swój początek od kręgów piersiowych oraz żeber i przykrywają odpowiadające im części lędźwiowe. Ponadto, ścięgna z warstwy piersiowej tworzą rozciągno mięśnia prostownika grzbietu, przykrywające mięsień wielodzielny i przez to uzupełniają warstwę powierzchną grupy tylnej mięśni grzbietu.



**Rycina 3.3** Szkic mięśni: wielodzielny (M), najdłuższy klatki piersiowej (LT) i biodrowo-żebrowy lędźwi (IL) odchodzących od wyrostków kolczystych, wyrostków dodatkowych oraz wyrostków poprzecznych kręgów odcinka lędźwiowego.

## Mięśnie międzykolcowe

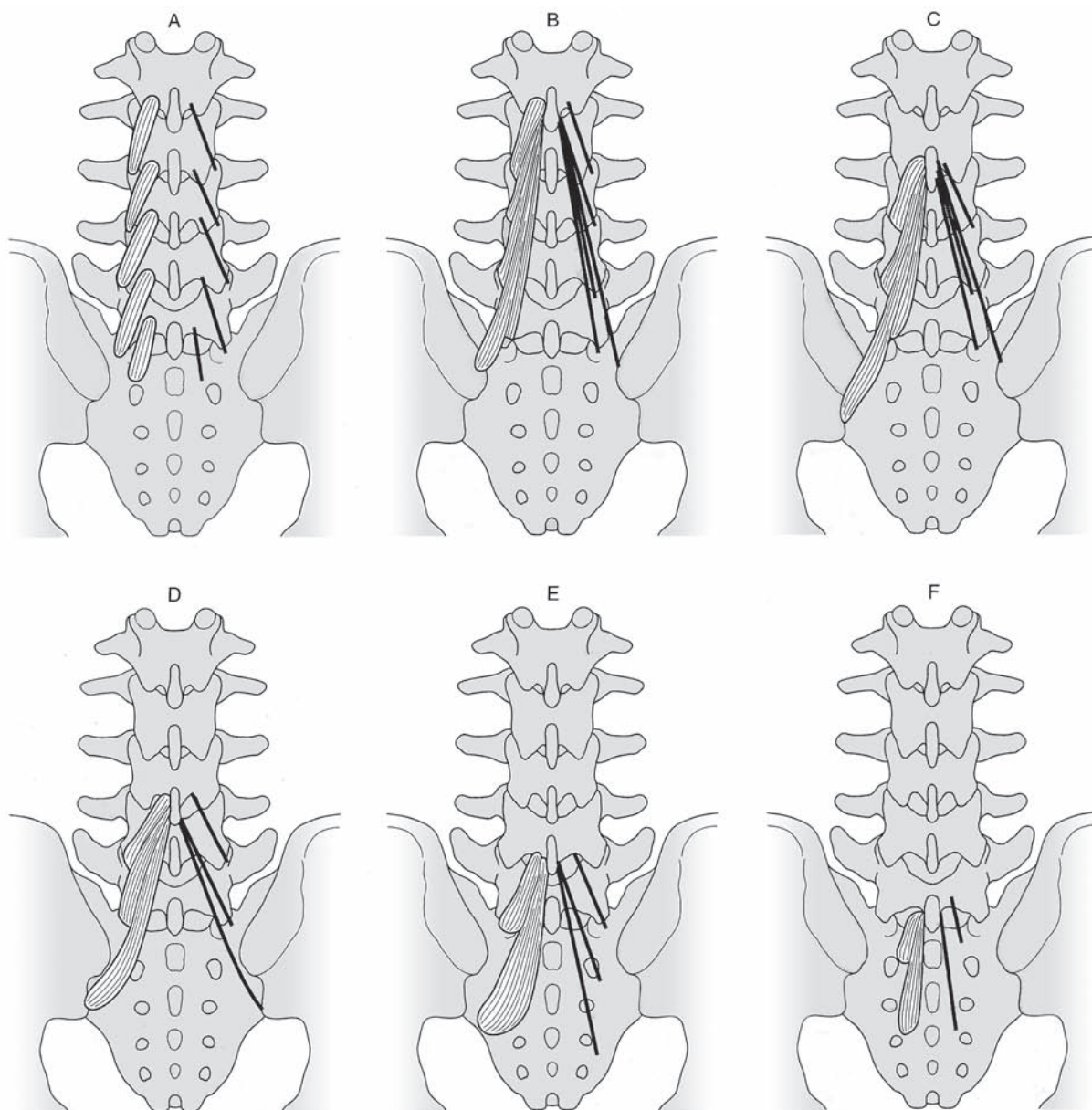
Mięśnie międzykolcowe to cienkie, prostokątne płaty włókien, które łączą krawędzie sąsiednich wyrostków kolczystych (Ryc. 3.1). Są one zbyt małe, by mieć wpływ na ruchomość kręgów lędźwiowych i uważa się, że – podobnie jak mięśnie międzypoprzeczne – biorą one udział w propriocepcji.

## Mięsień wielodzielny

Włókna tego mięśnia skupione są na każdym z lędźwiowych wyrostków kolczystych. Z tego miejsca rozchodzą się promieniście w sposób uporządkowany ku dołowi, przyczepiając się w różnych miejscach (Ryc. 3.4). Takie ułożenie włókien umożliwia pociąganie ku dołowi każdego wyrostka kolczystego, a co za tym idzie – umożliwia zapoczątkowanie ruchu wyprostu bądź kontrolę ruchu zgięcia.

Na każdym poziomie od dolnych brzegów wyrostka kolczystego oraz blaszki odchodzą krótkie włókna, które podążają do wyrostków suteczkowatych kręgów leżących dwa poziomy niżej. Są one otaczane przez włókna odchodzące od dolnego rogu wyrostka kolczystego, a biegnące trzy, cztery, a nawet pięć poziomów niżej. Włókna, które rozciągają się poniżej kręgu L5 nie mają już wyrostków suteczkowatych, do których mogłyby się przyczepić. Zamiast tego przyczepiają się na kości biodrowej i tylnej powierzchni kości krzyżowej.

Włókna mięśnia wielodzielnego ułożone są war-



**Rycina 3.4** Pęczki mięśniowe mięśnia wielodzielnego. (A) Warstwowe ułożenie mięśnia wielodzielnego, (B do F) Pęczki wychodzące z wyrostków kolczystych kręgu L1 do L5. (za Bogduk.<sup>124</sup>)

stwowo. Włókna biegnące z poziomu L1 przykrywają te z L2 boczenie i od tyłu. Włókna z poziomu L3 biegną nad włóknami z L4 i tak dalej. Takie ułożenie włókien umożliwia oddziaływanie mięśnia wielodzielnego

na każdy wyrostek kolczysty pojedynczo i oddzielnie.

W przeszłości mięsień ten był przez niektórych autorów uważany za mięsień rotujący kręgosłup lędźwiowy. Jednak pochylony układ włókien umożliwiający

prowadzi z kolei do zmiękczenia i osłabienia więzadeł – być może jest to wynik przewlekłego braku obciążenia.<sup>630</sup> Ścięgno musi się adaptować do zmian wytrzymałości mięśnia, z którym się łączy (patrz powyżej); może jednak nie być w stanie przystosować się szybko, co może wyjaśniać, dlaczego przetrenowanie tak często powoduje urazy ścięgien i przejść mięśniowo-ścięgnistych. Charakter obciążeń mechanicznych, jak również ich wielkość, wpływa na macierz ścięgna. Obciążenia kompresyjne powstające na skutek przemieszczania się ścięgna ponad kością mogą powodować, że macierz przybiera formę bardziej typową dla chrząstki.<sup>408</sup>

Uszkodzenie ścięgna może być następstwem urazu lub powtarzających się obciążeń. Zerwanie ścięgna Achillesa szczególnie często występuje u mężczyzn uprawiających sport od lat młodości aż do wieku średniego.<sup>664</sup> Urazy zmęczeniowe pojawiają się, ponieważ wytrzymałość ścięgna (in vitro) może zmniejszyć się do 90% po zastosowaniu miliona cykli obciążeniowych.<sup>993,994</sup> Uraz dotyczy często przejść mięśniowo-ścięgnistych, choć włókna kolagenu mogą rozerwać się w części środkowej lub blisko przyczepu do kości. Uszkodzone włókna ulegają enzymatycznej degradacji w miarę migracji fibroblastów do miejsca urazu w celu wytworzenia nowego kolagenu. W procesie gojenia wyróżnić można kilka etapów:<sup>669</sup> (1) stan zapalny, (2) fibroplazja i (3) dojrzewanie. W zależności od wielkości i lokalizacji ścięgna oraz siły urazu, gojenie może być procesem zasadniczo wewnętrznym lub zewnętrznym, w przypadku, gdy ukrwienie sąsiadujących tkanek odgrywa istotną rolę.<sup>669</sup> Nowe włókna są cieńsze niż stare, a ich pofałdowana struktura jest jeszcze nie zorganizowana,<sup>555</sup> dlatego ich mechaniczne właściwości nie zostaną jeszcze odzyskane prawdopodobnie nawet po upływie 14 miesięcy.<sup>420,1232</sup> Przywrócenie średnicy fibryli kolagenu jest prawdopodobnie niezbędne do odzyskania wytrzymałości więzadła,<sup>825</sup> nie wiadomo jednak czy obydwie omawiane struktury mogą wrócić do normalnego funkcjonowania. Procesy naprawcze dotyczące ścięgien mogą zostać zaburzone przez powtarzające się mniejsze urazy, czego skutkiem może być przewlekły proces degeneracyjny (tendinosis).<sup>955,1110</sup> Urazy więzadeł mogą dotyczyć tylko tych włókien, których orientacja ma zapobiegać ruchom skutkującym uszkodzeniami. W obrębie kręgosłupa

często stwierdza się urazy więzadeł międzykolcowych; 956 charakteryzują się one obecnością nieczynnych włókien przyległych do gładkiego otworu wypełnionego złożami tłuszczowymi.<sup>376,956</sup>

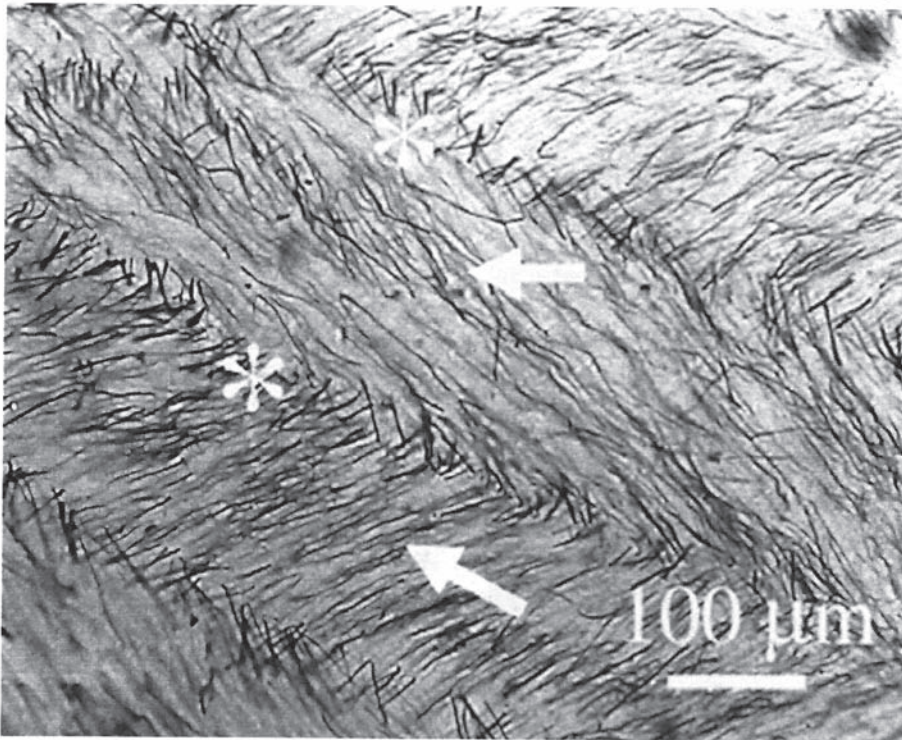
Inny rodzaj urazów może wystąpić w obrębie dużych ścięgien podczas forsownego wysiłku. Mechanizm amortyzacji produkuje tak dużo ciepła (Ryc. 1.5), że temperatura słabo unaczynionej części centralnej ścięgna wzrasta o ponad 5°C.<sup>1240</sup> Wystarcza to do wywołania denaturalizacji cząsteczek kolagenu na skutek rozwinienia się potrójnej helisy (Ryc. 7.7) oraz powstania zaburzeń metabolizmu fibroblastów. Fibroblasty ścięgien zawierają jednak białka „szoku cieplnego”, co daje im większą odporność na ciepło niż w przypadku fibroblastów innych tkanek, np. skóry.<sup>115</sup>

## Krażki międzykręgowe

Z perspektywy histologicznej, krażki międzykręgowe zostały sklasyfikowane jako chrząstka włóknista, ale ich budowa jest naprawdę złożona, gdyż składają się one z kilku różnych tkanek. Ich struktura makroskopowa, unerwienie i ukrwienie omówione zostały w Rozdziałach 2 i 4. Zakłada się, że cechy biochemiczne i metaboliczne kraqków międzykręgowych przypominają cechy chrząstki stawowej, którą przebadano dokładnie (zob. powyżej).

## Budowa i skład

Krażek międzykręgowy zawiera zarówno dobrze uwodnioną substancję żelową, tworzącą część centralną jądra miażdżystego, jak i twardą tkankę więzadłową zewnętrznego pierścienia włóknistego. Komponent chrząstny płytki granicznej przypomina bezpostaciową chrząstkę szklistą. Jądro miażdżyste składa się z wody (70-85%), mukopolisacharydów (50% suchej masy) oraz kolagenu (mniej niż 20% suchej masy). Proporcje te zmieniają się stopniowo w miarę zbliżania się do pierścienia włóknistego, który zawiera w przybliżeniu 50% wody, mukopolisacharydy (10% suchej masy) oraz kolagen (do 70% suchej masy). Zawartość kolagenu typu I (który jest zazwyczaj składnikiem struktur rozciągliwych, takich jak więzadła) jest największa w pierście-



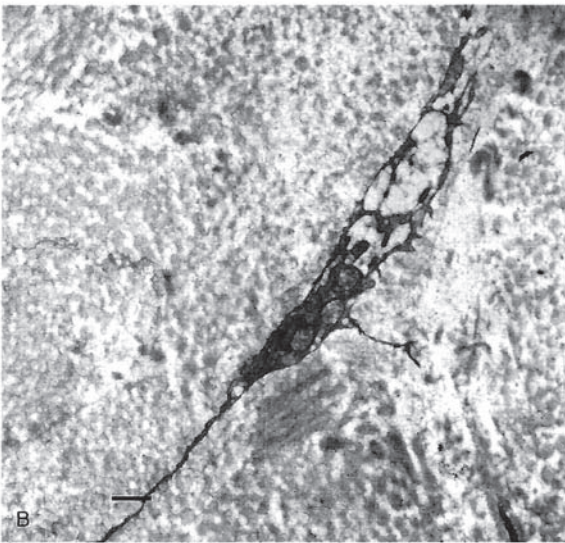
**Ryc. 7.13** Włókna elastyny (wybarwione na czarno) wewnętrznej części pierścienia włóknistego ludzkiego krążka międzykręgowego (osoba płci żeńskiej, wiek 12 lat, L3-L4). Strzałki: włókna równoległe w blaszkach przyległych mają orientację naprzemienną;

\*: włókna międzyblaszkowe o wzorze krzyżowym. (Według i za zgodą Yu i wsp.<sup>1265</sup>)

niu zewnętrznym, bardzo niska natomiast w części wewnętrznej pierścienia i jądrze miażdżystym. Kolagen typu II (prawidłowo obecny w zbitych tkankach, takich jak chrząstka stawowa) obficie występuje w jądrze miażdżystym, mniej obficie natomiast w części wewnętrznej pierścienia włóknistego; nie stwierdza się go w pierścieniu zewnętrznym.<sup>331,1003</sup> Z prac badawczych dotyczących ścięgien wynika, że dominujący typ kolagenu może zmieniać się z I na II, jeżeli zwyczajowe obciążenia zmieniają się z naprężeniowych do uciskowych.<sup>408</sup> Stąd też rozkład kolagenu zależy od części krążka międzykręgowego stanowi prawdopodobnie odzwierciedlenie mechanicznej funkcji każdej z nich. Wyjątkowo mocne pęczki włókien kolagenu w pierścieniu włóknistym (Tablica 2E) mają taki sam sfalderowany wzór („efekt gofrownicy”), jak ten obserwowany w ścięgnach i wiezadłach.<sup>209,903</sup> Powód jest prawdopodobnie

również ten sam: większa możliwość rozciągania i pochłaniania większej ilości energii zanim nastąpi uszkodzenie (Ryc. 1.5). Około 10-15% kolagenu krążka międzykręgowego stanowi kolagen typu VI, który tworzy sieć krótkich fibryli w obrębie macierzy okołokomórkowej. Obecne są także niewielkie ilości kolagenu typu III, V, IX, XI oraz XII. Ostatnio stwierdzono w krążku obecność złożonej sieci cienkich włókien elastyny.<sup>1265</sup> Ich organizacja (Ryc. 7.13) sugeruje, że mogą one wspomagać opór przeciwko promienistemu rozpręszaniu się jądra miażdżystego i regulować ścinające przesunięcia blaszek pierścienia włóknistego. Chrząstka płytek granicznych zawiera kolagen typu X,<sup>46</sup> obecny w hipertroficznym chondrocytach uczestniczących w procesie kalcyfikacji.

Cząsteczki mukopolisacharydów zawarte w jądrze miażdżystym są na ogół mniejsze i mniej skłonne

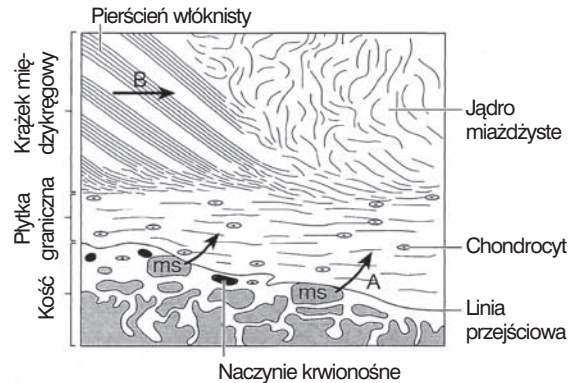


**Rys. 7.14** Komórki krążka międzykręgowego widoczne pod elektonowym mikroskopem transmisyjnym. (A) Komórka jądra miazdżystego (strzałki wskazują małe wypustki błony komórkowej). (B) Komórka zewnętrznej części pierścienia włóknistego z bardzo długimi wypustkami. (Według i za zgodą Errington i wsp.<sup>328</sup>)

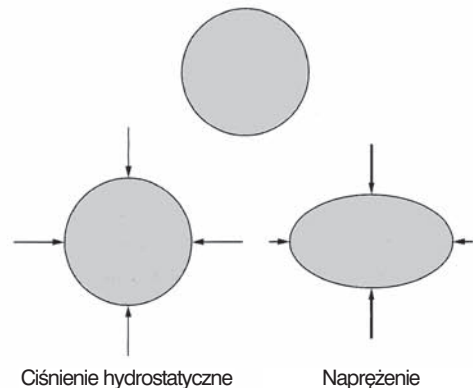
do tworzenia skupisk niż w chrząstce stawowej. Dzieje się tak prawdopodobnie dlatego, iż są one mniej narażone na dyfuzję w kierunku krawędzi krążka międzykręgowego i wyjście poza tkankę.

## Metabolizm

Typ komórki wydaje się zależeć od mechanicznej funkcji tkanki. Zaokrąglone komórki jądra miazdżystego

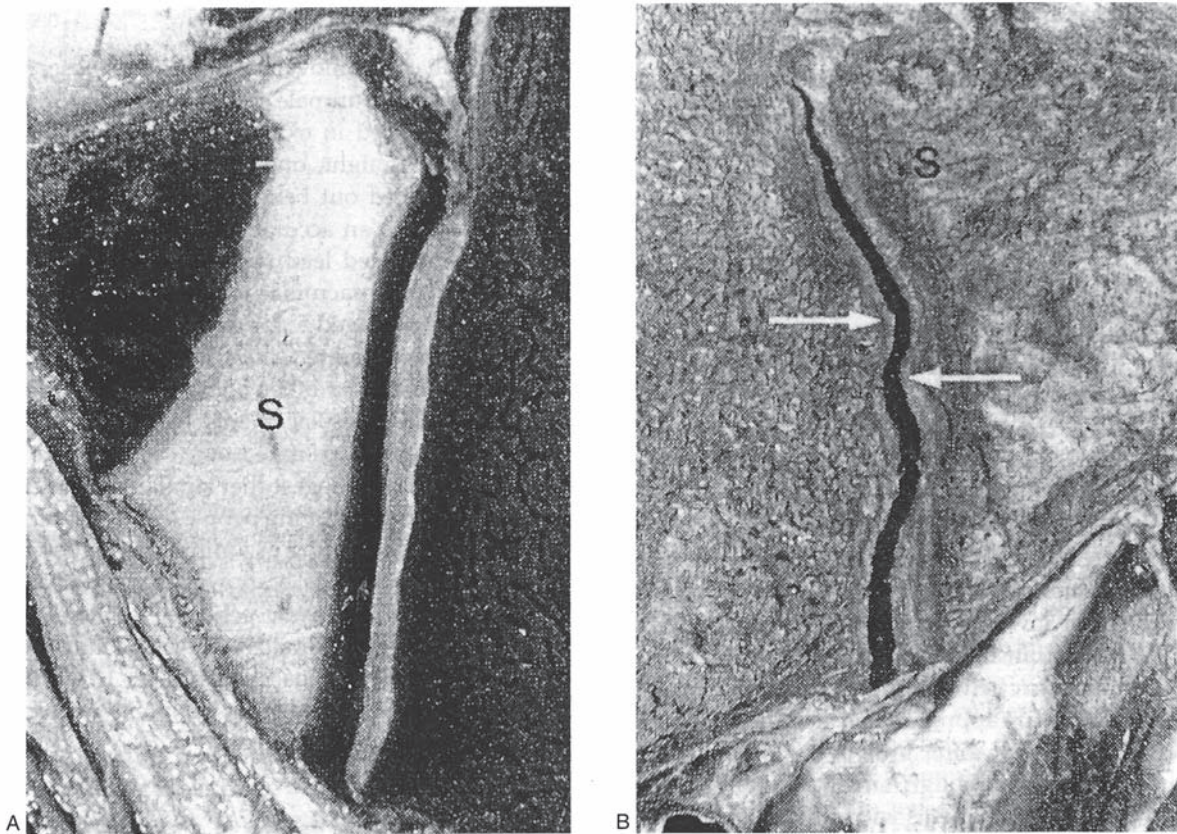


**Ryc. 7.15** Schemat przedstawiający fragment płytki granicznej kręgu, która składa się z warstwy chrząstki szklistej luźno przymocowanej do płytki z perforowanej warstwy korowej. (Według i za zgodą Roberts i wsp.<sup>961</sup>) Należy zwrócić uwagę na to, w jaki sposób grube włókna kolagenu pierścienia włóknistego wchodzi w chrząstkę szklistą płytki granicznej. Istnieją dwie drogi transportu metabolitów do centralnej części beznaczyniowego krążka międzykręgowego: przez przestrzeń szpiku (ms) płytki granicznej (A) oraz przez pierścień włóknisty (B). Porównaj z Tablicami 4B i 5C.



**Ryc. 7.16** Komórka krążka międzykręgowego (u góry) nie uległaby odkształceniu, gdyby została poddana działaniu ciśnienia hydrostatycznego (dół, strona lewa). Uległaby jednak deformacji, gdyby poddano ją kierunkowemu naprężeniu (dół, strona prawa). Te względy mechaniczne mogą stanowić częściowe wyjaśnienie kontrastu między kształtem komórek jądra miazdżystego a pierścienia włóknistego (Ryc. 7.14).

pochodzą w okresie rozwoju płodowego i wczesnego dzieciństwa ze struny grzbietowej,<sup>1129</sup> potem jednak zastępują je komórki przypominające chondrocyty chrząstki stawowej (Ryc. 7.14A).<sup>601</sup> Bardziej podłużne komórki zewnętrznej części pierścienia włóknistego



**Ryc. 10.14** Sekcje w przekroju czołowym przez zabalsamowane stawy krzyżowo-biodrowe (A) 12-letniego chłopca oraz (B) 60-letniego mężczyzny. „S” wskazuje na stronę krzyżową. Proszę zauważyć, jak płaska i gruba chrząstka w młodym stawie zastępowana jest przez pofalowaną powierzchnię (strzałki) i cienką chrząstkę w stawie osoby starszej. (Z: Vleeming i wsp.,<sup>1183</sup> za zgodą J. B. Lipincott, Filadelfia.)

### Ruchomość in vitro

Dużą ruchomość stawów krzyżowo-biodrowych zaobserwowano w badaniach na 5 zwłokach (czterech mężczyzn, jedna kobieta) w wieku 52-68 lat, które ułożono w pozycjach ekstremalnego „wykroku” z wyprostowanymi kończynami dolnymi, jedną z przodu, drugą z tyłu.<sup>1050</sup> Ruch w stawie mierzono z dokładnością do 1,3mm lub 1,00 przy pomocy tomografii komputerowej. Całkowity zakres ruchomości w płaszczyźnie strzałkowej wyniósł średnio 5° dla strony lewej i 8° dla strony prawej, przy czym skrajne wartości wynosiły od 3° do 17°.<sup>1050</sup> Ruchomość w pozostałych płaszczyznach zamykała się w 4° lub mniej. Maksymalne przemieszczenie liniowe kolców biodrowych tylnych górnych względem kości krzyżowej wynio-

sło 5-8mm. Autorzy zasugerowali, że podobną ruchomość można zaobserwować u żywych osób podczas energicznych czynności, takich jak bieganie czy skakanie. Przyłożenie do kości krzyżowej sił ekscentrycznych wielkości 60% masy ciała spowodowało jej rotację o 1o i translację równą 1mm – w badaniach wykonanych na zwłokach.<sup>784,1200</sup> Zakres rotacji zwiększył się o 10% po przecięciu tylnych lub przednich więzadeł, natomiast przecięcie obydwu spowodowało zwiększenie zakresu o 30%.<sup>1200</sup>

### Funkcja mechaniczna

Stawy krzyżowo-biodrowe umożliwiają niewielkie ruchy między podstawą kolumny kręgosłupa (kością krzyżową) a miednicą (kośćmi biodrowymi). Razem ze spoje-