

# Budowa anatomiczna więzadła krzyżowego tylnego

## Anatomy of the Posterior Cruciate Ligament

Agnieszka Chwaluk<sup>1(E,F)</sup>, Bogdan Ciszek<sup>2(E,F)</sup>

<sup>1</sup> Zakład Anatomii Zamiejscowego Wydziału w Białej Podlaskiej, Akademia Wychowania Fizycznego, Warszawa

<sup>2</sup> Zakład Anatomii, Warszawski Uniwersytet Medyczny

<sup>1</sup> Division of Anatomy, External Faculty of Physical Education in Biala Podlaska of the University of Physical Education, Warsaw

<sup>2</sup> Division of Anatomy, Medical University of Warsaw

### STRESZCZENIE

Spotykane w literaturze poglądy o budowie więzadła krzyżowego tylnego są niejednolite. Można uszeregować je od traktujących więzadło jako niepodzielne do przedstawiających je jako strukturę coraz to bardziej złożoną, składającą się z wielu pęczków. Podziały wykorzystują kryteria przyczepów, przebiegów i funkcji części składowych więzadła krzyżowego tylnego. Niektórzy badacze podkreślają receptorową rolę tego więzadła.

**Słowa kluczowe:** anatomia, więzadło krzyżowe tylne, pęczki

### SUMMARY

The views on the structure of the posterior cruciate ligament presented in the literature are not uniform. They can be ranged from those that refer to the ligament as an indivisible structure to those that regard it as an increasingly complex structure consisting of a number of bundles. The divisions are based on criteria related to the attachments, arrangement and functions of the components of the posterior cruciate ligament. Some researchers also specify the role of the receptors of the ligament.

**Key words:** anatomy, posterior cruciate ligament, bundles

## WSTĘP

Struktura więzadła krzyżowego tylnego (ang. posterior cruciate ligament, PCL) jest wciąż niejasna. W niniejszej pracy dokonano przeglądu piśmiennictwa pod kątem budowy anatomicznej tego więzadła. Skupiono się przede wszystkim na jego podziałach na mniejsze jednostki architektoniczne i różnych kryteriach tych podziałów.

## PODZIAŁ NA PĘCZKI

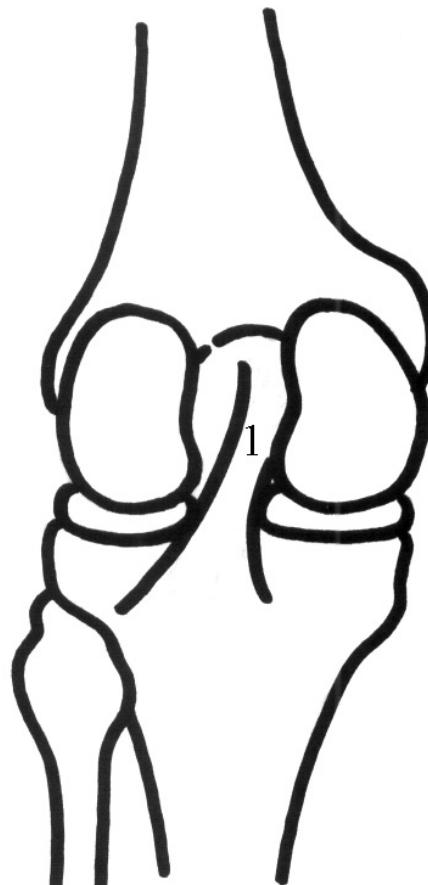
Niektórzy badacze twierdzą, że PCL stanowi skaloną strukturę tzw. „unit” i nie można wydzielić pęczków [1] (Ryc. 1). Według Fussa budowę jednopęczkową mają oba więzadła krzyżowe: przednie i tylnie i nie występuje w ich obrębie podział na mniejsze [2]. Nie ma więc ani wielu cienkich, ani też dwóch czy trzech grubych pęczków, a więzadło krzyżowe tylne morfologicznie jest jednostką, czyli monolitem. Podobne stanowisko prezentują też Satku i wsp., według których, choć więzadła krzyżowe mają włókna przednio-boczne i tylno-przyśrodkowe, to nie są one jasno wyodrębnione [3].

## BACKGROUND

The structure of the posterior cruciate ligament (PCL) remains unclear. This paper presents a review of the literature on the anatomy of PCL, with particular focus on its division into smaller architectural units and various criteria utilised in these classifications.

## DIVISION INTO BUNDLES

Some researchers believe that PCL is an integrated structure (a unit) and individual bundles cannot be distinguished [1] (Fig. 1). According to Fuss, both the anterior and posterior cruciate ligaments have a single-bundle structure and cannot be divided into smaller units [2]. Therefore, there are no many thin bundles or two or three thick bundles in the posterior cruciate ligament, which is thus one morphological unit – a monolith. A similar standpoint has been taken by Satku et al., who believe that although the cruciate ligaments are actually composed of antero-lateral fibres and posteromedial fibres, the fibres are not clearly distinguishable [3].

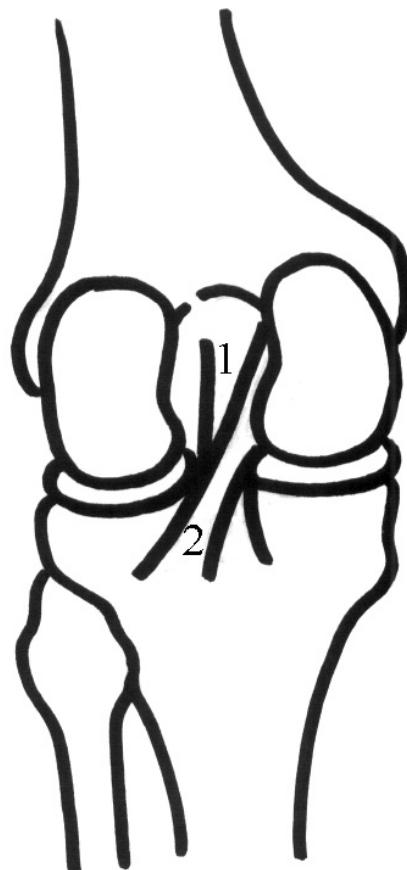


Ryc. 1. Jednopęczkowy schemat więzadła krzyżowego tylnego wg Dommelena [1] (1 – więzadło krzyżowe tylne)

Fig. 1. Dommelen's single bundle posterior cruciate ligament [1] (1 – posterior cruciate ligament)

Liczniej reprezentowane są poglądy o złożonej budowie więzadła krzyżowego tylnego. Najprostszy model obejmuje dwa pęczki. Te dwa składniki, nazywane też taśmami, określa się niekiedy jako części: przednią – aPC (przedni pęczek włókien PCL) i tylną – pPC (tylny pęczek włókien PCL) [4,5,6,7]. Silniejsza część przednia reprezentuje 95% więzadła, a mniejszy tylny pęczek stanowi pozostałe 5% [6, 7]. Według O'Briena są dwa pęczki – przedni (95%), a tylny – skośny (5%) [8]. Według niektórych autorów PCL składa się co prawda z dwóch części, ale są one nierożłączne [7]. Przeważają jednak opinie, że więzadło krzyżowe tylne składa się z pęczków: przednio-bocznego AL-PCL (ang. anterolateral PCL) i tylnoprzyśrodkowego PM-PCL (ang. posteromedial PCL) [9,10,11,12,13,14,15] (Ryc. 2). Baek oraz Amis i wsp. wskazują zarazem, że może to być podział sztuczny, ponieważ możliwe, że pęknienie między pęczkami stało się następstwem rozpreparowania [13,16]. Harner, Xerogeanes i wsp. stwierdzają odrębność ultrastruktury pęczka przednio-bocznego więzadła krzyżowego tylnego w stosunku do pęczka

The view that the PCL is a complex structure that can be divided into several elements is more common. The simplest is the double-bundle model. These two elements, called also bands, are sometimes referred to as bulks, i.e., the anterior bulk – aPC (anterior fibre bundle) and the posterior bulk – pPC (posterior fibre bundle) [4,5,6,7]. The stronger anterior bulk accounts for 95% of the entire cruciate ligament, whereas the smaller posterior bundle constitutes the remaining 5% [6,7]. According to O'Brien there are two bundles that also include an anterior bundle (95%) but the posterior bundle is oblique (5%) [8]. Some authors claim that while the PCL does consist of two elements, these elements are inseparable [7]. The majority, however, believe that the PCL is composed of the following bundles: anterolateral (AL-PCL) and posteromedial (PM-PCL) [9,10,11,12,13,14,15] (Fig. 2). At the same time, Baek along with Amis et al. indicate that this division may be artificial, since it is possible that the rupture between the two bundles results from their being split during specimen preparation [13,16]. Harner, Xero-



Ryc. 2. Dwupęczkowy schemat więzadła krzyżowego tylnego wg Hughstona [9] (1 – pęczek przednio-boczny, 2 – pęczek tylnoprzyśrodkowy)

Fig. 2. Hughston's double-bundle posterior cruciate ligament [9] (1 – anterolateral bundle, 2 – posteromedial bundle)

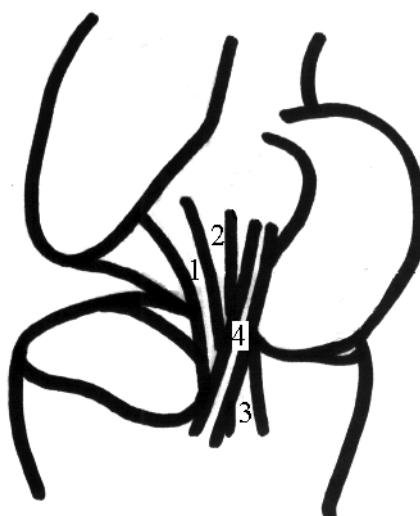
przednio-przyśrodkowego więzadła krzyżowego przedniego i więzadła łykotkowo-udowego przedniego, badając udział włókien kolagenowych na różnych poziomach przekrojów poprzecznych tych więzadeł [17]. Inni anatomici uważają, że podział PCL na dwa scharakteryzowane tradycyjnie pasma (taśmy) jest zbytnim uproszczeniem. Niektórzy identyfikują dodatkowo tylny skośny pęczek więzadła krzyżowego tylnego [18]. Włókna zlokalizowane z tyłu PCL i przebiegające od przyśrodkowej strony kości udowej do bocznej strony piszczeli, gdzie przyczepiają się poniżej poziomu tylnego rogu łykotki bocznej, można mylić z tymi, które dochodzą do samego rogu tylnego tej łykotki [16]. Jeśli przyczep końcowy więzadła nie jest dokładnie określony, mogą być one kojarzone jako więzadło łykotkowo-udowe tylne PMFL (ang. posterior meniscofemoral ligament). Harner i Hoher opisując trzy komponenty więzadła krzyżowego tylnego włączają w jego skład PMFL [19]. Według Kennedyego i Graingera trzy części tworzące PCL to włókna powierzchowne: piszczelowo-udowe i łykotkowo-udowe oraz włókna głębokie – piszczelowo-udowe [20]. Trent i Kurosawa i wsp. dzielą włókna PCL na pęczki: przedni, środkowy i tylny [21,22] (Ryc. 3). Nie brak też poglądów charakteryzujących więzadło jako kontynuum włókien, bez ścisłego wydzielenia pęczków czy wiązka. Składa się ono wtedy z 4 tzw. „geograficznych” regionów, mających charakterystyczną przestrzenną orientację i przyczepy kostne: przedniego, centralnego, tylnego podłużnego i tylnego skośnego [8,23,24]. Na 4 pęczki: przedni, środkowy, tylny podłużny i tylny skośny

geanes et al. found that the ultrastructure of the anterolateral bundle of the posterior cruciate ligament is different from that of the posteromedial bundle of the anterior cruciate ligament and the anterior meniscofemoral ligament in terms of the proportion of collagen fibres on different levels of the transverse cross-section of these ligaments [17]. Other anatomists believe that the division of the PCL into the two traditionally distinguished bands is overly simplified. Some authors additionally distinguish a posterior oblique PCL bundle [18]. Posterior PCL fibres running from the medial femur to the lateral tibia, where they are attached below the posterior horn of the lateral meniscus, may be confused with those that reach the posterior horn [16]. If the insertion of the ligament is not precisely identified, the fibres may be confounded with the posterior meniscofemoral ligament (PMFL). Besides, Harner and Hoher, in their description of three components of the cruciate ligament, include PMFL as one of them [19]. According to Kennedy and Grainger, the three parts of the PCL are the tibiofemoral and meniscofemoral superficial fibres and the deep tibiofemoral fibres [20]. Trent and Kurosawa et al. distinguish an anterior, median and posterior fibre bundle in the PCL [21,22] (Fig. 3). There are also views of the ligament as a continuum of fibres that are not divided into bundles or clusters. Such opinions see the PCL as composed of four so called "geographical" regions of characteristic spatial orientation and anterior, central, posterior longitudinal and posterior oblique bone attachments [8, 23,24]. Makris et al. divide the ligament into four



Ryc. 3. Trójpęczkowy schemat więzadła krzyżowego tylnego. Usunięty kłykiec boczny kości udowej wg Treanta [21] (1 – pęczek przedni, 2 – pęczek środkowy, 3 – pęczek tylny)

Fig. 3. Trent's triple-bundle posterior cruciate ligament. Lateral femoral condyle removed [21] (1 – anterior bundle, 2 – medial bundle, 3 – posterior bundle)



Ryc. 4. Czteropęczkowy schemat więzadła krzyżowego tylnego. Usunięty kłykcie boczny kości udowej wg Makrisa [6] (1 – pęczek przedni, 2 – pęczek centralny, 3 – pęczek tylny podłużny, 4 – pęczek tylny skośny)

Fig. 4. Makris's quadruple-bundle posterior cruciate ligament. Lateral femoral condyle removed [6] (1 – anterior bundle, 2 – medial bundle, 3 posterior longitudinal bundle, 4 - posterior oblique bundle)

dzielą więzadło Makris i wsp. [6] (Ryc. 4). Regiony przedni i środkowy reprezentują większą część PCL, podczas gdy pozostałe tylne stanowią 15 do 20% więzadła. Jednak tylko tylne regiony włókien (w 50% przypadków) są całkowicie wyodrębnione, choć skośny pęczek, nieobecny w 25% przypadków jest w nich zastępowany przez więzadło łączotkowo-udowe tylne. Te dwie różne struktury anatomiczne nie mogą być ze sobą mylone [1]. Mommersteeg i wsp. dzielą oba więzadła krzyżowe nawet na 6-10 pęczków [25].

Według Morgana-Jonesa i Crossa w 100% staw kolanowy istnieje niezależnie pasmo włókien kolagenowych łączące ACL (ang. anterior cruciate ligament) i PCL, które nazywają pęczkiem międzykrzyżowym. Pasmo to składa się z włókien pozostających w łączności z włóknami obu więzadeł krzyżowych [26].

## PRZYCZEPY I PRZEBIEGI

Podział na komponenty oparty jest bądź na miejscach przyczepu włókien i ich przebiegu, bądź na samym przebiegu [8,9,10,11,15,23]. Więzadło krzyżowe tylne zaczyna się od tylnej części powierzchni bocznej kłykcia przyśrodkowego kości udowej. Ten przyczep ma kształt fragmentu koła lub elipsy i bywa porównywany do połowy księżyca. Góra krawędź przyczepu jest albo pozioma, a dolna wypukła i równoległa do dolnej stawowej krawędzi kłykcia, albo granicę pola przyczepu udowego wyznaczają:

bundles, namely, anterior, central, posterior longitudinal and posterior oblique bundles [6] (Fig. 4). The posterior and central regions constitute the largest part of the PCL, whereas the remaining posterior regions account for 15 to 20%. However, only the posterior fibre regions (50% of cases) are wholly distinguishable, although the oblique bundle, which is absent in 25% of cases, is replaced by the posterior meniscofemoral ligament. These two different anatomical structures must not be confused [1]. Mommersteeg et al. divide both ligaments into as many as 6-10 bundles [25].

According to Morgan-Jones and Cross, 100% of knees have an independent band of collagen fibres, called an intercruicate bundle, connecting the ACL with the PCL. The band consists of fibres joined with the fibres of both cruciate ligaments [26].

## ATTACHMENTS AND ARRANGEMENTS

Divisions into components are based either on the attachment points of the fibres and their arrangement or only on their arrangement [8,9,10,11,15,23]. The posterior cruciate ligament starts at the posterolateral surface of the medial femoral condyle. This attachment is elliptical or round in shape and it is sometimes compared to a crescent. The upper border of the attachment may be horizontal with a convex lower borderline, which runs in line with the lower articular border of the condyle. Alternatively, the area bor-

najbliżej – dłuża półcięciwa, najbardziej z przodu – krótsza półcięciwa i najdalej łuk [2,7]. Według autorów reprezentujących powyższy pogląd, przyczep ten ma najdłuższy wymiar przednio-tylny. Według Makrisa i wsp. cały udowy przyczep PCL leży w płaszczyźnie strzałkowej i nic nie wskazuje, że więzadło to zaczyna się od sklepienia dołu międzykłykciowego [6]. Harner, Xerogeanes i wsp. uważają, że przyczep ten jest względnie płaski [12,17]. Według Amisa i wsp. i Edwardsa i wsp. część przednio-boczna więzadła krzyżowego tylnego przyczepia się przeważnie do sklepienia dołu międzykłykciowego, łącząc się z krawędzią chrząstki stawowej na przedniej granicy tego miejsca, natomiast część tylno-przyśrodkowa zaczyna się zwykle od przyśrodkowej ściany dołu na przyśrodkowym kłyku kości udowej i rozciąga się na tej ścianie do 5 mm od granicy chrząstki [15,16]. PCL kończy się z tyłu górnej powierzchni piszczeli, w polu międzykłykciowym tylnym. Przyczep końcowy rozciąga się też na kilku milimetrach na sąsiadującej tylnej powierzchni piszczeli, a więc jest bardziej skomplikowany niż przyczep udowy [2,7]. Przednia część całego przyczepu końcowego więzadła krzyżowego tylnego należy do części przednio-bocznej więzadła i jest położona bezpośrednio z tyłu przyczepu rogu tylnego łąkotki przyśrodkowej do piszczeli. Bardziej tylna część PCL przyczepia się dalej na tylnej powierzchni proksymalnej części piszczeli [15]. Kształt przyczepu jest prostokątny lub kwadratowy o zaokrąglonych kątach, ale przestrzennie jest on zagięty przez brzeg tylny piszczelowego „plateau” [12,17]. Nomenklatura pęczków AL i PM odpowiada w pierwszym członie anatomicznej lokalizacji przyczepu udowego, w drugim przyczepu piszczelowego. Włókna PCL przyczepiają się w kierunku przednio-tylnym na kości udowej i boczno-przyśrodkowym na piszczeli [7]. AL biegnie ku tyłowi i nieznacznie bocznie, aby przyczepić się na bocznej stronie pola międzykłykciowego tylnego piszczeli, a PM biegnie z tyłu bez odchyleń na bok czy przyśrodkowo i przyczepia się do przyśrodkowej powierzchni tego pola [9]. Według Harnera i wsp., to na piszczeli komponenty przyczepiają się zgodnie z nazwą: AL jest przednią i boczną, PM tylną i przyśrodkową częścią przyczepu piszczelowego, natomiast na kości udowej rozdzielenie komponentów PCL przebiega pionowo wzdłuż linii biegającej od punktu bliższego do dalszego [17]. Trzy części PCL według Kurosawy i wsp. wyodrębnia się na podstawie miejsca przyczepu udowego: przedniego, środkowego i tylnego [22]. W oparciu o miejsca przyczepu i przebieg włókien Makris i wsp. dzielą więzadło na cztery części [6]. Udowy przyczep PCL obejmuje region przedni włókien, który dotyczy najbardziej

ders of the attachment may be limited proximally by a long semi-chord, frontally by a short semi-chord and distally by an arc [2,7]. According to the authors supporting this view, the anteroposterior dimension of this attachment is the longest. Makris et al. believe that the femoral attachment of the PCL is in the sagittal plane and there is no evidence to suggest that the ligament starts at the arch of the intercondylar fossa [6]. Harner, Xerogeanes et al. posit that this attachment is relatively flat [12,17]. Amis et al. and Edwards et al. claim that the anterolateral part of the posterior cruciate ligament is usually attached to the arch of the intercondylar fossa, connecting with the border of the articular cartilage at the anterior border of this area, with the posteromedial part starting at the medial wall of the fossa on the medial femoral condyle and stretching along this wall to a point located 5 mm from the border of the cartilage [15, 16]. PCL ends at the posterior upper aspect of the tibia in the posterior intercondylar fossa. The insertion also stretches over several millimetres of the neighbouring posterior surface of the tibia, so it is more complex than the femoral attachment [2,7]. The anterior part of the entire insertion of the PCL belongs to the anterolateral part of the ligament and is located directly behind the tibial attachment of the posterior horn of the medial meniscus. The more posterior PCL is attached further along the posterior aspect of proximal tibia [15]. The attachment is rectangular or square with rounded corners, but in a three-dimensional view it is bent over the posterior border of the tibial plateau. The nomenclature of the AL and PM bundles is based on the anatomical location of the femoral attachment as far as the first element of the name is concerned, and the location of the tibial attachment for the second element. The PCL fibres are attached anteroposteriorly to the femur and lateromedially to the tibia [7]. The AL runs posteriorly and slightly laterally and is attached to the lateral surface of the posterior intercondylar fossa of the tibia, whereas the PM runs posteriorly without lateral or medial deviations and is attached to the medial area of the fossa [9]. However, according to Harner et al., the attachments of the components to the tibia are those that actually correspond with their names, where AL is the anterior and lateral tibial attachment, and PM attaches posteriorly and medially. On the other hand, the division of the PCL elements on the femur is made according to a vertical line running from the proximal to the distal point [17]. Kurosawa et al distinguish three elements of the PCL on the basis of their femoral attachments, referred to accordingly as anterior, central and posterior [22]. Makris et al divide the PCL into four elements on the

przedniej części przyczepu i dochodzi do najbardziej z przodu leżącej części przyczepu piszczelowego, środkowy region, który zaczyna się od środkowej części przyczepu udowego i przyczepia się do środkowej i nieznacznie bocznej części przyczepu piszczelowego i tylne regiony zaczynające się od tylnej części przyczepu udowego, a dochodzące do najbardziej tylnej części przyczepu piszczelowego: region tylny podłużny – przyśrodkowo, a tylny skośny – bocznie.

Pęczek międzykrzyżowy łączy przednio-boczny brzeg więzadła krzyżowego przedniego z tylno-przyśrodkową granicą PCL. Włókna wewnętrz łączącego pasma są na przekrojach poprzecznych więzadeł krzyżowych widoczne wzdłuż długości lub przecięte skośnie, co sugeruje delikatny ruch spiralny od ACL do PCL [26].

## ROZMIARY

Przyczep początkowy więzadła krzyżowego tylnego (udowy) jest ponad dwa razy większy niż końcowy (piszczelowy), ponieważ włókna kolagenowe są bardziej skoncentrowane przy ich końcu [2]. Względem przekroju środkowego więzadła, przyczepy udowy i piszczelowy są zwykle 3 razy większe, a stanowić mogą nawet 500% tego przekroju [12,17]. Kształt przekroju poprzecznego PCL od najbardziej wydłużonego przy kości udowej, staje się coraz bardziej okrągły w kierunku piszczeli. Według niektórych najważsze jest więzadło w jego środkowej części [7]. Harner, Xerogeanes i wsp. uważają, że przekrój poprzeczny więzadła krzyżowego tylnego zmniejsza się od kości udowej do piszczeli [12]. Część przednio-boczna więzadła krzyżowego tylnego ma większe pole przekroju poprzecznego niż tylno-przyśrodkowa [1,7,16]. Pęczek AL-PCL bywa nawet dwa razy większy pod względem przekroju poprzecznego niż PM-PCL [12,19]. Odwrotnie uważają Hughston i wsp., według których grubszy jest pęczek PM [9]. Według Harnera i wsp. nie ma różnicy między powierzchniami poprzecznymi dwóch komponentów, a każdy z nich obejmuje 50% całkowitego pola przyczepu więzadła, natomiast Amis i wsp. są zdania, że proporcje przekrojów poprzecznych pęczków AL i PM są różne, chociaż przyczepy piszczelowe mają podobne powierzchnie [16,17]. Przyjmując podział na cztery części, większy przekrój poprzeczny ma grupa przednia, czyli regiony przedni i środkowy, mniejszy grupa tylna – regiony podłużny i skośny. Przedni i środkowy region włókien reprezentują wspólnie główną masę PCL, bo około 80% przekroju. Najszerzy jest środkowy pęczek włókien [6].

basis of the points of attachment and the arrangement of the fibres [6]. The femoral attachment of the PCL includes an anterior region of the fibres, which constitutes the most anterior part of the attachment and reaches the most anterior tibial attachment; a central region, which starts at the central segment of the femoral attachment and is attached to the central and, to a small extent, lateral segments of the tibial attachment; and posterior regions, starting at the posterior femoral attachment and reaching the most posterior tibial attachment: a posterior longitudinal region – medially, and a posterior oblique region – laterally.

The intercruciate bundle connects the anterolateral border of the anterior cruciate ligament with the posteromedial border of the PCL. A cross-section of the cruciate ligaments shows that the fibres inside the band connecting the ligaments are seen along their length or cut transversely, which indicates their slight spiral movement from the ACL to the PCL [26].

## SIZES

The origin (femoral attachment) of the posterior cruciate ligament is more than twice as big as the insertion (tibial attachment), since the collagen fibres are more concentrated at their end [2]. In comparison with the middle cross-section of the ligament, the femoral and tibial attachments are usually three times larger and account for as much as 500% of the ligament cross-section [12,17]. The shape of the PCL cross-section is most longitudinal at the femur and becomes more and more rounded towards the tibia. Some authors believe that the middle part of the ligament is the thinnest [3]. Harner, Xerogeanes et al. hold that the cross-section of the PCL becomes thinner from the femur towards the tibia [12]. The cross-section area of the anterolateral part of the posterior cruciate ligament is larger than the posteromedial part [1,7,16]. The AL-PCL bundle is sometimes even twice as large in cross-section as the PM-PCL bundle [12,19]. Hugston et al. disagree and believe that the PM bundle is bigger [9]. According to Harner et al., there is no difference between the cross-section surface areas of the two elements, with each of them constituting 50% of the total area of the ligament attachment, whereas Amis et al. claim that the ratios of the AL and PM cross-sections do differ, although the areas of the tibial attachments are similar in size [16,17]. In the four-bundle division, the cross-section of the anterior group, i.e., the anterior and central regions, is larger, and the posterior group, i.e., longitudinal and oblique regions, is smaller. The anterior and central fibres together account for the main bulk of the PCL, 80% of the cross-section. The central fibre bundle is the thickest [6].

Według Harnera, Xerogeanesa i wsp. długość dwóch komponentów – przednio-bocznej i tylnoprzyśrodkowej wydaje się być podobna [12]. Natomiast Hughston i Amis i wsp. są zdania, że przedni pęczek jest dłuższy [9,16].

## FUNKCJA

Częstym sposobem podziału PCL jest kryterium funkcji. Nawet przy ujmowaniu więzadła jako pojedynczego pęczka, napięcia w czasie ruchu w różnych włóknach więzadła są różne. Większość włókien napiętych jest w maksymalnym zgięciu, ale są i włókna napięte tylko w pośrednich pozycjach. Według niektórych występuje cienkie pasmo, które jest napięte stale – tzw. „pęczek przewodzący” („guiding bundle”) [2]. U większości badaczy napięcie i rozluźnienie w czasie zginania i prostowania kolana są podstawą podziału na dwa pęczki [9,10,11,14,15,16, 17]. Przednio-boczna część PCL jest albo napięta w zgięciu i w wyproście rozluźniona, a tylnoprzyśrodkowa wyraźnie napięta w wyproście jest nieco luźniejsza w zgięciu, albo pęczek AL stopniowo napią się, gdy zwiększa się zgięcie stawu kolanowego, ale pozostaje mniej napięty przy pełnym wyproście, a część PM pozostaje bardzo napięta, kiedy staw kolanowy jest w przeproście i nieco mniej napięte, kiedy kolano jest zgięte powyżej 30 stopni [6,7,9,12,17,19, 27,28]. Fuss identyfikuje trzy funkcjonalnie różne grupy włókien następująco: pęczek włókien napięty zawsze we wszystkich pozycjach, włókna napięte w pośrednich pozycjach i włókna napięte w pozycjach ekstremalnych, czyli w wyproście, w zgięciu lub w obu sytuacjach [2]. Według Fussa funkcjonalnie na trzy części podzielić można też udowy przyczep więzadła: jedną dla włókien napiętych w pośrednich pozycjach, jedną dla włókien napiętych w maksymalnym wyproście, jedną dla włókien napiętych w maksymalnym zgięciu [23]. W podziale więzadła krzyżowego tylnego na cztery części: przednią, środkową, tylną podłużną i tylną skośną, opartym również na ich zachowaniu mechanicznym, w wyproście przednie włókna są zupełnie rozluźnione, środkowe są mniej luźne niż przedział przedni, a tylne – podłużne i skośne są napięte. W zgięciu 90° przednie i środkowe włókna stają się napięte, a tylne nieco rozluźniają się. W dalszym zgięciu (od 90 do 120°) ponownie napina się pęczek tylny, przedni region, aczkolwiek nieco mniej, pozostaje napięty, a środkowa część nie wykazuje żadnych oznak rozluźnienia [6].

Tę wielką zmienność w zachowaniu się poszczególnych grup włókien kolagenowych zauważa więzadło krzyżowe tylne istnieniu wśród nich sieci włókien nerwowych stanowiących prawie 1% powierzchni przekroju poprzecznego tego więzadła [29].

According to Harner, Xerogeanes et al., both components, the anterolateral and posteromedial, seem to be of similar length [12]. However, Hughston and Amis et al. believe that the anterior bundle is longer [9,16].

## FUNCTION

PCL function is a popular criterion for its division. Even if the ligament is viewed as a single bundle, tensions in individual ligament fibres differ during movement. Most of the fibres become stretched in maximum flexion, but some are stretched only in transitional positions. Some authors believe that there is a thin bundle ("guiding bundle") that is constantly stretched [2]. Most researchers use tension and relaxation during flexion and extension as a basis for the division of PCL into two bundles [9,10,11,14,15,16, 17]. The anterolateral PCL is either stretched while flexed and relaxed while extended, with the posteromedial PCL visibly stretched while extended and slightly relaxed while flexed, or the AL bundle gradually stretches with increasing knee flexion, but remains less stretched in full extension, with the PM bundle becoming strongly stretched when the knee is hyperextended and a little less stretched with the knee flexed at over 30 degrees [6,7,9,12,17,19,27, 28]. Fuss divides the fibre bundles into functionally disparate three groups: a bundle stretched in all positions, fibres stretched only in transitional positions, and bundles stretched in extreme positions, i.e., in extension, flexion, or both [2]. Moreover, Fuss also divides the femoral attachment of the ligament into three functional groups, namely, fibres stretched in transitional positions, fibres stretched in full extension, and fibres stretched in full flexion [23]. In case of the division of the posterior cruciate ligament into four elements, i.e., anterior, central, posterior longitudinal, and posterior oblique, based also on their mechanical properties, the anterior fibres are totally relaxed in full extension, the central fibres are less stretched than the anterior compartment and the posterior longitudinal and oblique fibres are stretched. During 90° flexion the anterior and central fibres become stretched, with the posterior fibres becoming slightly relaxed. In greater flexion (from 90 to 120°) the posterior bundle stretches again, the anterior bundle also remains stretched although less than the posterior part, with the central bundle showing no signs of relaxation [6].

The vast variability of the properties of the individual groups of collagen fibres in the PCL results from the presence of nets of nerve fibres among them that account for almost 1% of the total area of the ligament's cross-section.

Oprócz funkcji PCL jako elementu biernego narządu ruchu, dzięki istnieniu w nim również receptorów wpływa ono na napięcie grup mięśniowych utrzymujących stabilność stawu kolanowego, przyczyniając się znacząco do jej utrzymania podczas ruchu [30,31,32].

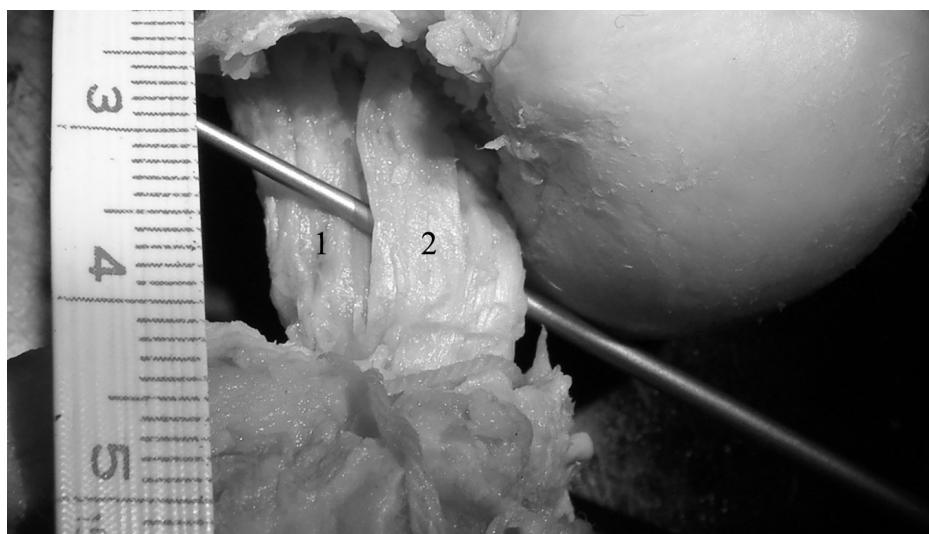
### PODSUMOWANIE

Przedstawiony przegląd piśmiennictwa wskazuje na brak jednolitej koncepcji opisu budowy i czynności więzadła krzyżowego tylnego (Ryc. 5). Przeciwnie, więzadło krzyżowe przednie od blisko 30 lat jest konsekwentnie opisywane jako składające się z dwóch pęczków. W ostatnich latach ma to także przełożenie na próby dwupęczkowej rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. Niewątpliwie źródłem kontrowersji dotyczących PCL jest znacznie mniejsza częstość jego uszkodzeń. Ponadto występowanie w zespole z więzadłami łokotkowo-udowymi i włączanie tychże w strukturę PCL również utrudnia wypracowanie spójnego obrazu (Ryc. 6). Na koniec należy podkreślić, że źródłem niejasności jest sama technika badań anatomicznych. Preparując posuwamy się wzduż linii mniejszego oporu tkanek, co pozwala na wydzielenie „czegoś” (Ryc. 7). O tym, jakie znaczenie przypisujemy wydzielonym tak „strukturom”, decyduje możliwość powiązania ich z konkretną funkcją, rodzajem obciążenia lub techniką leczenia chirurgicznego. Takie powiązanie nadaje sens praktyczny i kliniczny pracy anatoma, gdyż w strukturach anatomicznych wydzielić można rozmaite części i sam ten fakt nie stanowi jeszcze rzeczywistego odkrycia. Nawet jednak udane powiązanie opisu struk-

Apart from the functions of the PCL as a passive element of the locomotor system, the ligament has receptors that affect the tone of the groups of muscles that maintain the stability of the knee joint, especially during movement. [30,31,32].

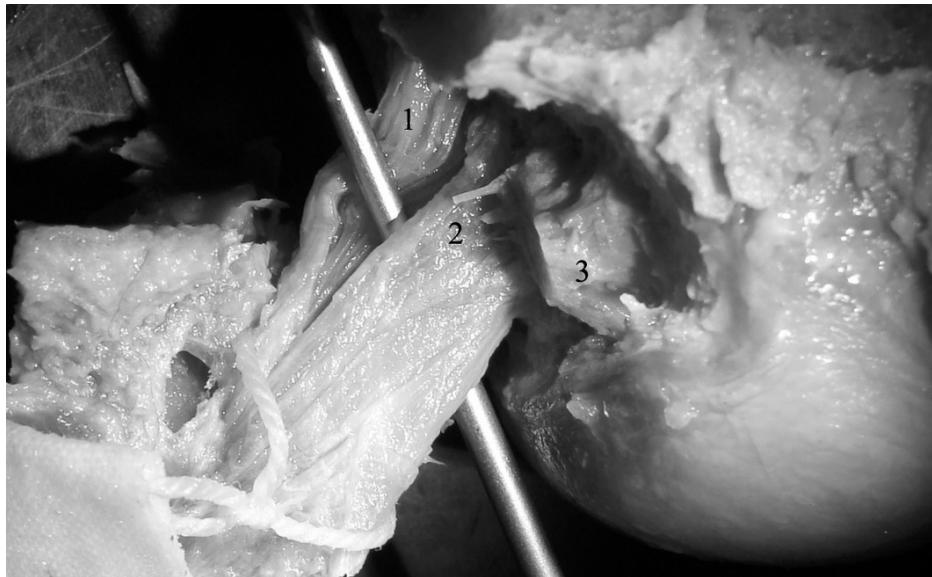
### SUMMARY

The review of the literature outlined above shows that there is no uniform description of the structure and functions of the posterior cruciate ligament (Fig. 5). On the contrary, the anterior cruciate ligament has been consistently referred to as a double-bundle structure for the past 30 years. In recent years this view has been also reflected in attempts to reconstruct the posterior cruciate ligament as a two-bundle unit. Undeniably, these controversies are owed to a lower incidence of PCL injuries. Moreover, classifying the PCL in one group with the meniscofemoral ligaments or including them as a part of the PCL structure may make it difficult to agree on a clear view (Fig. 6). Finally, it should be underlined that the very technique of anatomical studies is a source of ambiguity. During specimen preparation, we move along the line of lower tissue resistance, which makes possible the separation of "something" (Fig. 7). The interpretation we assign to the distinguished "structures" is determined by the possibility of associating them with a specific function, type of load or surgical technique. Such associations constitute the practical and clinical dimension of the anatomist's work, since many different parts can be distinguished in anatomical structures, and this very fact is not a true



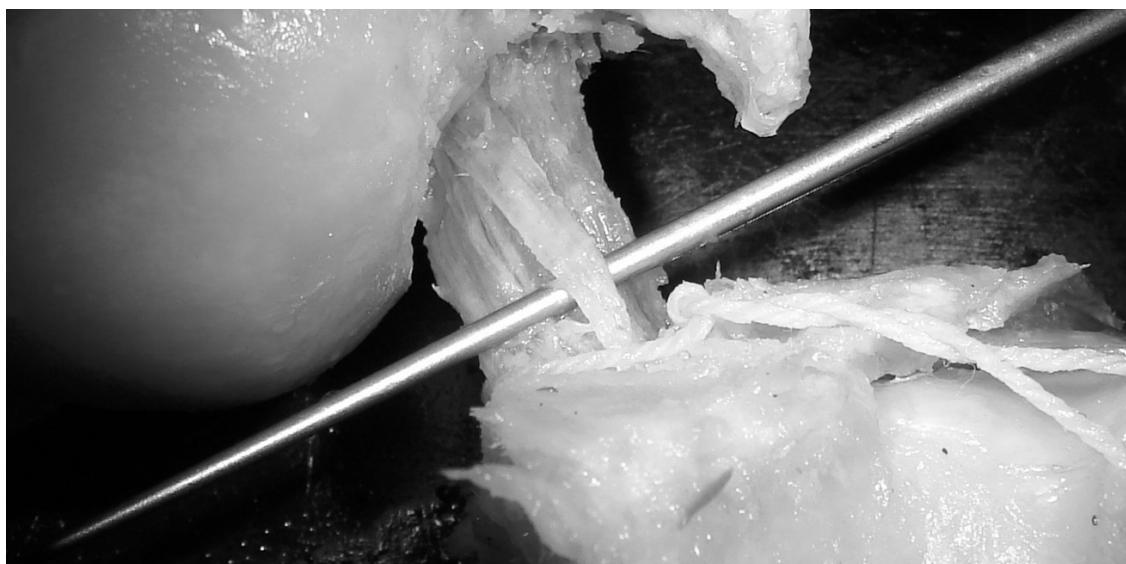
Ryc. 5. Więzadło krzyżowe tylne – widok od tyłu. Z kolekcji Zakładu Anatomii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego (1 – pęczek przednio-boczny, 2 – pęczek tylnoprzyśrodkowy)

Fig. 5. Posterior cruciate ligament – posterior view. Collection of the Division of Anatomy of the Medical University of Warsaw (1 – anterolateral bundle, 2 – posteromedial bundle)



Ryc. 6. Więzadło krzyżowe tylne i fragment więzadła łąkotkowo-udowego tylnego – widok od tyłu. Z kolekcji Zakładu Anatomii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego (1 – pęczek przednio-boczny PCL, 2 – pęczek tylno-przyśrodkowy PCL, 3 – więzadło łąkotkowo-udowe tylne)

Fig. 6. Posterior cruciate ligament and a fragment of the posterior meniscofemoral ligament -posterior view. Collection of the Division of Anatomy of the Medical University of Warsaw



Ryc. 7. Pęczek skośny więzadła krzyżowego tylnego – widok od tyłu. Z kolekcji Zakładu Anatomii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Fig. 7 Oblique bundle of the posterior cruciate ligament – posterior view. Collection of the Division of Anatomy of the Medical University of Warsaw

tury anatomicznej PCL z jego czynnością i aspektami klinicznymi nie kończy sprawy. Każdy taki podział jest do pewnego stopnia sztuczny i pamiętać należy, że wydzielone części pozostawały w łączności ze sobą poprzez wiązki więzadłowe nieuchronnie uszkodzone preparowaniem. Dlatego dążyć należy do powiązania struktury makroskopowej z mikroskopową, zwłaszcza w anatomii układu więzadłowego.

discovery. Even the successful association of the anatomy of the PCL with its functions and clinical aspects is not the end of the work. Every division made is to a certain extent artificial and one needs to remember that the distinguished elements were joined together by ligament bundles that were inevitably damaged during preparation. Therefore, we should seek out links between macroscopic and microscopic structure, particularly in the anatomy of the ligament system.

## PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

1. Dommelen van BA, Flower PJ. Anatomy of the posterior cruciate ligament. A review. Am J Sports Med 1989; 17: 24-29.
2. Fuss FK. Anatomy of the cruciate ligaments and their function in extension and flexion of the human knee joint. Am J Anat 1989; 184: 165-176.
3. Satku K, Chew CN, Seow H. Posterior cruciate ligament injuries. Acta Orthop Scandinavica 1984; 55: 26-29.
4. Barton TM, Torg JS, Das M. Posterior cruciate ligament insufficiency. A review of literature. Sports Med 1984; 1: 419-430.
5. Race A, Amis AA. PCL reconstruction: In vitro biomechanical comparison of „isometric” versus single and double-bundle „anatomic” grafts. J Bone Joint Surg 1998; 80 B: 173-179.
6. Makris CA, Georgoulis AD, Papageorgiou CD, Moebius UG, Soucacos PN. Posterior cruciate ligament architecture: evaluation under micro-surgical dissection. Arthroscopy 2000; 16 (6): 627-632.
7. Girgis FG, Marshall JL. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. Clin Orthop 1975; 106: 216-231.
8. Covey DC, Sapega AA. Current concepts review. Injuries of the posterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg Am 1993; 75: 1376-1386.
9. Hughston JC, Bowden JA, Andrews JR, Norwood LA. Acute tears of the posterior cruciate ligament. Results of operative treatment. J Bone Joint Surg 1980; 62 A: 348-450.
10. Race A, Amis AA. The mechanical properties of the two bundles of the human posterior cruciate ligament. J Biomech 1994; 27: 13-24.
11. Harner CD, Livesay GA, Kashiwaguchi S, Fujie H, Choi NY, Woo S. L-Y. Comparative study of the size and shape of human anterior and posterior cruciate ligaments. J Orthop Res 1995; 13: 429-434.
12. Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, et al. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Am J Sports Med 1995; 23: 736-745.
13. Baek GH, Carlin GJ, Vorgan TM, Woo S. L-Y, Harner CD. Quantitative analysis of collagen fibrils of human cruciate and meniscofemoral ligaments. Clin Orthop 1998; 357: 205-211.
14. Zaffagnini S, Martelli S, Garcia L, Visani A. Computer analysis of PCL fibres during range of motion. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2004; 12 (5): 420-428.
15. Edwards A, Bull AM, Amis AA. The attachments of the fiber bundles of the posterior cruciate ligament: an anatomic study. Arthroscopy 2007; 23 (3): 284-290.
16. Amis AA, Gupte CM, Bull AM, Edwards A. Anatomy of the posterior cruciate ligament and the meniscofemoral ligaments. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2006; 14 (3): 257-263.
17. Harner CD, Baek GH, Vorgan TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi S, Woo S. L-Y. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. Arthroscopy 1999; 15: 741-749.
18. Inderster A, Benedetto KP, Klestil T, Kunzel KH, Gaber O. Fiber orientation of posterior cruciate ligament: an experimental morphological and functional study, Part 2. Clin Anat 1995; 8 (5): 315-322.
19. Harner CD, Hoher J. Evaluation and treatment of the posterior cruciate ligament injuries. Am J Sports Med 1998; 26: 471-482.
20. Kennedy JC, Grainger RW. The posterior cruciate ligament. J Trauma 1967; 7: 307.
21. Trent PS, Walker PS, Wolf B. Ligament length patterns, strength and rotational axes of the knee joint. Clin Orthop 1976; 117: 263-270.
22. Kurosawa H, Yamakoshi K-I, Yasuda K, Sasaki T. Simultaneous measurement of changes in length of the cruciate ligaments during knee motion. Clin Orthop 1991; 265: 233-240.
23. Fuss FK. The restraining function of the cruciate ligaments on hyperextension and hyperflexion of the human knee joint. Anat Rec 1991; 230: 283-289.
24. Covey DC, Sapega AA, Sherman GM. Testing for isometry during reconstruction of the posterior cruciate ligament. Am J Sports Med 1996; 24: 740-746.
25. Mommersteeg TJA, Kooloos JGM, Blankevoort L, Kauer JMG, Huiskes R, Roeling FQC. The fibre bundle anatomy of the human cruciate ligaments. J Anat 1995; 187: 461-471.
26. Morgan – Jones RL, Cross MJ. The intercruciate band of the human knee. An anatomical and histological study. J Bone Joint Surg 1999; 81B: 991-994.
27. Abbot LC, Saunders JB, Bost FC, Anderson CE. Injuries to the ligaments of the knee joint. J Bone Joint Surg 1944; 26: 503-521.
28. Fleming RE, Blatz DJ, McCarrol JR. Posterior problems in the knee. Posterior cruciate insufficiency and posterolateral rotatory insufficiency. Am J Sports Med 1981; 9: 107-113.
29. Franchi A, Zaccherotti G, Anglietti P. Neural System of the Human Posterior Cruciate Ligament in Osteoarthritis. J Arthroplasty 1995; 10 (5): 679-682.
30. Schultz RA, Miller DC, Kerr CS, Micheli L. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study. J Bone Joint Surg 1984; 66 (7 A): 1072-1076.
31. Johansson H, Sjölander P, Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. Clin Orthop Relat Res 1991; 268: 161-178.
32. Katonis PG, Assimakopoulos AP, Agapitos MV, Exarchou EI. Mechanoreceptors in the posterior cruciate ligament. Histologic study on cadaver knees. Acta Orthop Scand 1991; 62 (3): 276-278.

Liczba słów/Word count: 5683

Tabele/Tables: 0

Ryciny/Figures: 7

Piśmiennictwo/References: 32

Adres do korespondencji / Address for correspondence  
dr med. Agnieszka Chwaluk, e-mail: agnieszka.chwaluk@awf-bp.edu.pl  
Zakład Anatomii Zamiejscowego Wydziału Wychowania Fizycznego  
21-500 Białystok, ul Akademicka 2, tel./fax: (0-83) 342-87-36

Otrzymano / Received 14.10.2007 r.  
Zaakceptowano / Accepted 02.01.2008 r.