

BIOTENSEGRACJA

Mariusz Kurkowski & Don Thompson

Wraz z rozwojem technologii zmienia się również nasze postrzeganie i rozumienie otaczającej nas rzeczywistości. To zjawisko łatwo jest dostrzec, przyrównując postęp technologiczny i anatomię. Z jednej strony nowe urządzenia pomagają nam zrozumieć coraz większe złożoności ciała ludzkiego, mechanizmy zawiadujące procesami zachodzącymi w ciele. Z drugiej zaś nasze rozumienie technologii w pewien sposób sugeruje rozumienie ciała. Związek pomiędzy technologią a mechanistyczną anatomią świetnie opisał Domenico Meli [5].

Przez długi czas technologia była na etapie prostej obróbki metali, a mechanika opierała się na linach, dźwigniach i bloczkach. Podobnie anatomia, w której najpierw postrzegano ciało jako zbiór alchemicznych żywiołów ognia, wody czy żelaza, aby w czasach Galena i później Leonarda Da Vinci stało się skomplikowanym systemem mechanicznym podobnym do ówczesnego zaawansowania technologicznego. Wyraźnie zmieniła się anatomia w okresie rewolucji przemysłowej XIX w. – organizm człowieka postrzegano jako olbrzymią, skomplikowaną taśmę produkcyjną składającą się z całkowicie oddzielonych od siebie podzespołów czy organów, które miały specyficzne właściwości i funkcje. XX w. przyniósł olbrzymi postęp w medycynie – dzięki zaawansowanym technologiom możliwe stało się dostrzeżenie i zbadanie najdrobniejszych reakcji biochemicznych i mechanizmów zachodzących w ciele.

Od połowy XX w. można dostrzec coraz szerszą akceptację modelu holistycznego. Jest to kontynuacja myślenia najwcześniejszych pionierów medycyny naturalnej D'Arcy Thompsona [1] czy Andrew Taylora Stilla [2].

Można by się zastanowić, w jakim kierunku zmierza zmiana w rozumieniu sposobu funkcjonowania ciała człowieka – czy jest nowa koncepcja biomechaniki i anatomii, która odpowiadałaby współczesnemu Zeitgeist? Zakładając, że dzięki rewolucji informatycznej XXI w. będzie w dalszym ciągu dawał więcej niezależności i możliwości wpływu na otaczający świat jednostce, będzie się zwiększać jej interakcyjność z otoczeniem.

Jeżeli wziąć pod uwagę fakt, że ciało człowieka od zawsze wystawione jest na działanie grawitacji, a mimo to jest on w stanie utrzymać wyprostowaną postawę, to jaki mechanizm jest za to odpowiedzialny? Czy jesteśmy zbudowani kompresyjnie, jak nieożywione budynki, cegła na ciele? A przecież ciało człowieka znakomicie funkcjonuje w każdej, nie tylko pionowej pozycji. Jak

pokazał ostatni rekord człowieka w przebywaniu na orbicie, również w stanie nieważkości jest w stanie funkcjonować.

Wracając zatem do przykładów historycznych, które pokazują owo myślenie o anatomii w świetle technologicznego postępu: we wszystkich ilustracjach Leonarda Da Vinci można dostrzec, że ścięgna, mięśnie i organy ciała od razu mają przypisaną sobie mechaniczną rolę.

Wszystkie na pierwszy rzut oka za coś pociągają, przechodzą przez troczki, by tworzyć dźwignie itp. Trochę jak olinowanie jachtu stabilizujące maszt, a jednocześnie spełniające swoje indywidualne funkcje. W czasach renesansu znano sześć prostych mechanizmów: dźwignia, bloczek, pochyła płaszczyzna, klin, śruba, koło i oś. Należy pamiętać, że większość studentów zarówno w czasach odległych, jak i obecnie sporadycznie ma do czynienia z nauką anatomii na preparatach, dlatego sposób ilustrowania i narracja rysownika mają wielkie znaczenie dla ostatecznego obrazu powstającego w wyobraźni uczącego się anatomii.

Kilkaset lat później swoją metaforyczną wersję wnętrza organizmu przedstawił Fritz Kahn. Jego ilustracje idealnie pokazują sprzężenie ducha czasów z technologią oraz postrzeganiem funkcji i mechanizmów organizmu.

BIOMECHANIKA

Czym jest biomechanika? Dosłownie termin ten oznacza mechanikę żywych obiektów. Już to narzuca pewną mechanistyczną narrację, a przecież w XXI w. dąży się do holistycznego spojrzenia na organizm. Dzięki zdobyciom technologii XX w. można było się przyjrzeć najbardziej zawiłym mechanizmom ciała człowieka i jasne się stało, że nie jest ono „maszyną parową”, lecz niezwykle skomplikowanym wielosystemowym układem chemiczno-cybernetycznym, a droga do jego pełnego poznania, odkrycia, czym jest i jak działa, jest jeszcze daleka.

Podstawy pod biomechanikę położyli:

- Euklides i stworzona przez niego geometria,
- Kartezjusz, określając system trzech płaszczyzn,
- Giovanni Borelli – dźwignie,
- Sir Izaak Newton, określając prawa ruchu i grawitacji.

Jeśli chodzi o Euklidesa to oczywiste jest, że człowiek nie jest zbudowany z trójkątów, a jednak w klasycznej biomechanice nadal często części ciała upraszczane są do prostych brył Platona, np. miednica staje się trójkątem itp.

Wiadomo, że ruch trudno jest opisać w trzech płaszczyznach bazujących na kącie 90°. Buckminster Fuller pracował nad stworzeniem geometrii opartej na kącie 60°, co w efekcie daje nie sześciąt, a bryłę zbliżoną do kuli, bliższą temu, co obserwuje się w biologii.

Z kolei nienewtonowskie płyny swoim zachowaniem wprost pokazują, że prawa określone przez Newtona nie zawsze mają swoje zastosowanie. Powodem tych niespójności jest to, że podstawy klasycznej biomechaniki mają swoje źródło w obserwacjach nieożywionych obiektów.

Dźwignie

Dajcie mi punkt podparcia, a poruszę ziemię

Archimedes

Giovanni Alfonso Borelli, XVII-wieczny włoski matematyk, lekarz i fizjolog poszerzył metodę analityczną stworzoną przez Galileusza do testowania hipotezy z obserwacjami świata mechanicznego w odniesieniu do świata biologicznego. Skupił się na badaniu ruchu zwierząt. W książce, wydanej pośmiertnie, opisał swoje teorie i odkrycia. Główne z nich to:

- porównanie serca do tłoku i wniosek, że tętnice muszą być elastyczne,
- obserwacja, że gdy ciało porusza się do przodu, wówczas przemieszcza się również jego środek grawitacji, więc wymachy ramion w trakcie chodu służą utrzymaniu równowagi,
- zaprezentowanie ciała jako systemu współpołączonych brył w 2D oraz 3D,
- pokazanie, że to system dźwigni układu mięśniowo-szkieletowego, a nie czysta siła fizyczna jest odpowiedzialny za ruch i utrzymanie równowagi ciała.

Spostrzeżenia te sprawiły, że Borelli jest uznawany za ojca klasycznej biomechaniki i nadal przyznawana jest nagroda jego imienia.

Podstawą kinematyki są otwarte łańcuchy kinematyczne, czyli nic innego jak systemy dźwigni.

Przy bliższym spojrzeniu okazuje się jednak, że model ten nie przystaje do ciała ludzkiego. Jeśli chodzi o obiekty nieożywione, to dźwignie, wyliczanie osi podporu, długości ramienia i siły potrzebnej do dźwignięcia obiektu są jak najbardziej właściwe, jednak przestają sprawdzać się w odniesieniu do żywego organizmu.

Istotne jest, aby dźwignia była prawdziwa, jej ramię musi być w bezpośrednim kontakcie z punktem przyłożenia osi. W przypadku stawów układu szkieletowego człowieka jednak tak nie jest. Między kością a punktem osi znajdują się chrząstki, które jeśli faktycznie staw działa jak dźwignia, uległyby w trakcie ruchu zgnieceniu. Co więcej, ruch taki wytwarzałby ogromne siły skośne, co w efekcie powodowałoby ogromne tarcie i wytwarzanie ciepła, co również niszczyłoby staw. Jak pokazały doświadczenia przeprowadzone w 1981 r. przez chirurga ortopedę Stephena Levina na jego własnym kolanie in vivo, mimo wszelkich starań dociśnięcia do siebie powierzchni stawowych kolana zawsze jednak pozostawała w nim przestrzeń. Kości stawu nigdy nie były w bezpośrednim kontakcie ze sobą!

Pokazuje to, że stawy nie mogą być prawdziwymi dźwigniami. Dookoła każdego z nich zachodzi swoista równowaga napięć z otaczających go tkanek miękkich, która podtrzymuje to rozdzielenie powierzchni stawowych tak, by nie dochodziło do ich uszkodzeń. Model dźwigni Borelliego prawdopodobnie bardziej przystaje do stawów artretycznych, gdzie dochodzi do kontaktu kości z kością.

Czy wobec odkrywanych przez kolejne wynalazki technologiczne niespójności w ogólnie uznanym modelu biomechaniki jest jakaś alternatywa? Czy istnieje model, który lepiej, pełniej i zgodniej z rzeczywistością mógłby opisać ciało i jego ruch?

BIOTENSEGRACJA

Tensegracja to termin stworzony przez architekta i myśliciela Buckminstera Fullera. Łączy w sobie dwa słowa angielskie: tension, czyli naprężenie, i integrity, czyli spójność, integralność. Można by więc rozumieć tensegrację jako spójność poprzez naprężenie.

Buckminster Fuller wraz z Kennethem Snelsonem stworzyli proste modele, które idealnie odzwierciedlały to, nad czym od lat pracował Buckminster. Wierzył on, że kształt biologicznych struktur dyktowany jest przez pewne uniwersalne i bardzo fundamentalne prawa fizyczne – równowagę niewidzialnych sił, jakie zawsze stale oddziałują na przedmioty: grawitacja, siły reakcji podłoża itd. Modele tensegracyjne Snelsona unaoczniały te siły. Najprostszym sposobem ich zilustrowania jest wyobrażenie sobie, jak zbudowane jest koło rowerowe. Stanowi ono konstrukcję tensegracyjną. Oś zawieszona jest dzięki szprychom w środku obręczy. Szprychy jednocześnie oddalają oś od obręczy i ją przyciągają. Oś zawieszona jest po środku obręczy. Powszechnie wiadomo, jak wyglądają modele tensegracyjne dwudziestościanów. Jest to 6 rozpórek, których wierzchołki połączone są gumkami w taki sposób, że żadna z rozpórek nie dotyka innej, a konstrukcja utrzymuje swój trójwymiarowy kształt. Jeśliby każdą ze ścian pokryć materiałem, tensegracyjny dwudziestościan zacząłby upodabniać się do kuli, która jest jednym z najpowszechniejszych kształtów w naturze.

Na zdj. 3 widać, jak każdy z wierzchołków bryły dwudziestościanu jest utrzymywany w swoim miejscu dzięki

równomiernemu naprężeniu linek. To właśnie równowaga naprężeń zapewnia bryle stabilność i jednocześnie pozwala na rozpraszanie nadmiernych naprężeń na całą strukturę. W konstrukcji tensegracyjnej każdy element jest na równo współpołączony z innymi. W ciele człowieka dostrzega się taką równowagę napięć na różnych poziomach skali.

W skali organizmu na poziomie makroskopowym przykładem jest staw barkowy. Nietrudno dostrzec, że ramię jest w nim stabilizowane przez naprężenie mięśni rozłożonych dookoła stawu, podobnie jak oś koła rowerowego do jego obręczy. Łatwo jest prześledzić kolejne „szprychy” tego koła. Zaczynając od mięśni obłych, przez pod- i nadgrzebieniowe, dalej naramienny i piersiowy większy do zębatego przedniego. Daje to tkanki ułożone 360° dookoła stawu, które jednocześnie go stabilizują i kontrolują.

W skali mikroskopowej, na poziomie komórki odnajdujemy tensegracyjne umieszczenie elementów cytoskieletów w stosunku do błony komórkowej. W doświadczeniu, gdy hodowano na szalkach Petriego kolonie komórek, które poddano zwiększonemu naprężeniu (czyli było ich zbyt wiele dla określonej powierzchni), reagowały unicestwieniem części kolonii. I odwrotnie, gdy na szalce była niedostateczna do jej optymalnego zapełnienia ilość komórek, wówczas te namnażały się, aby utrzymać idealne naprężenie całości.

Można by zadać pytanie: a co z tym wszystkim, co jest pomiędzy? Jak zachowują się tkanki? Nie komórki, nie cały organizm, a tkanki w skali mezoskopowej? Niekwestionowanym liderem badań w tym zakresie jest francuski chirurg Jean Claude Guimberteau. W swojej książce „Architektura żywej powięzi człowieka” pokazuje dotąd nieznaną świat tkanek miękkich. Doktor Guimberteau w trakcie przeprowadzanych zabiegów chirurgicznych pytał pacjentów o zgodę o filmowanie endoskopem w trakcie zabiegu, gdy byli poddani anestezji. Zawarte w książce zdjęcia ukazują czytelnikowi świat jak z filmu „Fantastyczna podróż” z 1966 r. (nota bene inspirowanego pierwszymi zdjęciami endoskopowymi). Włókna kolagenu zmieniają swoje położenie, rozczepiają się i łączą w odpowiedzi na ruch żywego w trakcie filmowania ciała. Wyraźnie widać, że wspólnym elementem dla wszystkich obserwowanych regionów ciała jest pajęczyna kolagenowych włókien tkanki łącznej. Jean Claude Guimberteau wysunął koncept mikrowakuoli, czyli przestrzeni, jakie tworzą się pomiędzy spletającymi się włóknami kolagenu. To w tych miejscach pozakomórkowej macierzy znajduje się substancja podstawowa oraz osadzone są wyspecjalizowane komórki. Przy uważnej inspekcji mikrowakuoli można odkryć, że one same są geometrycznymi minitensegracyjnymi strukturami.

POWIĘŻ

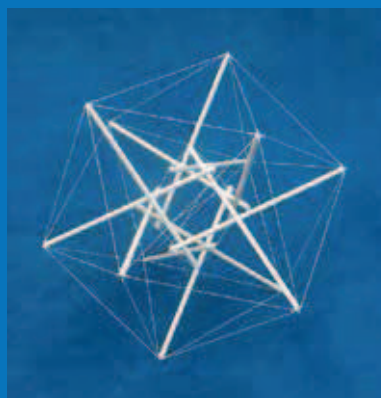
Powieź została nazywana przez niemieckiego badacza Roberta Schleipa „kopciuszkim” wśród tkanek i organów ciała. Kolejne badania naukowe prowadzone w końcu XX w. pokazały, jaką rolę spełnia w ciele. Jest organem



Zdj. 1. Buckminster Fuller



Zdj. 2. Jedna z przestrzennych konstrukcji tensegracyjnych Kennetha Snelsona



Zdj. 3. Tensegracyjny dwudziestościan



Zdj. 4. Graham Scarr: *Biotensegracja. Strukturalna podstawa życia*



Zdj. 5. Jean Claude Guimberteau: *Architektura żywej powięzi człowieka*

jednocześnie spajającym i integrującym całe ciało, jednocześnie rozdzielając je na poszczególne przedziały, przegrody, kieszonki, tuby i maleńkie mikrowakuole. To zaledwie jedna z jej funkcji. Jak wynika z badań Schleipa [3], tkanka łączna jest również największym organem w ciele odpowiedzialnym za czucie. To w niej znajdują się mechanoreceptory, które informują nie tylko o propriocepcji czy po prostu o nadmiernie napiętych okolicach, ale również o tym, jak mocny jest wywierany nacisk na ciało, czy kiedy skóra jest delikatnie muskana, kiedy odczuwamy ciepło czy zimno. Powieź jest układem samoczynnie regulującym swoje napięcie poprzez mechanizmy sprzężeń zwrotnych. Wiadomo, że tkanka łączna poprzez działanie miofibroblastów może się powoli kurczyć [4].

To najbardziej rozproszona w ciele sieć tkanki, która sięga swoimi włóknami wszędzie. Nawet tam, gdzie nie sięgają zakończenia nerwowe. Włókna kolagenu tkanki łącznej są więc środowiskiem, pozakomórkową macierzą, w której osadzone są wyspecjalizowane komórki tworzące dane narządy wewnętrzne czy wyspecjalizowane tkanki. Przykładem niech będzie, że ścięgno jest praktycznie pozbawione komórek (z racji roli, jaką musi odgrywać), a mięsień zawiera w sobie znaczne ilości komórek mięśniowych. Obie te struktury mają wspólną składową – tkankę łączną, która przenika i tworzy je. Reprezentuje sobą różne właściwości w różnych okolicach ciała, jednak nadal wywodzi się z tej samej pierwotnej mezenchymy.

Podsumowując – można stwierdzić, że architektura tkanki powięzi człowieka jest tak zaaranżowana, by mechanicznie, tensegracyjnie podtrzymywać i wspierać wyprostowaną postawę oraz wykonywane przez człowieka czynności, z drugiej strony powieź jest tkanką odpowiedzialną za czucie i nieświadome interceptowane mechanizmy podtrzymujące homeostazę.

Oczywiście powyższe przykłady tensegracyjnej aranżacji tkanek w ciele na różnych poziomach skali to duże uproszczenie, ale mogą służyć jako dobry przykład głównych aspektów tensegracji. Wyczerpujące wiadomości na ten temat można znaleźć w książce na temat tensegracji i biotensegracji autorstwa Grahama Scarra [7].

Biotensegracja jest dużym krokiem do przodu w sposobie opisanego ciała człowieka, jednocześnie uwalniając się od modelu dźwigni. Jest w stanie dać racjonalne wytłumaczenie, jak działa w przypadku człowieka podstawowa geometria euklidesowa oraz pięć podstawowych brył Platona. Na pewno biotensegracja nie jest ostatecznym i skończonym konceptem w pełni opisującym biomechanikę. Pierwszym z powodów niech będzie to, że bazuje na statycznej inżynierii, a ta nie może łatwo opisać ruchu.

Stephen Braybrook [9] wylicza, jakie aspekty powinna obejmować nowoczesna biomechanika oraz teoria ruchu na miarę XXI wieku:

- **holizm** – oznacza to, że dany koncept będzie mógł być badany na poziomie mechanizmów wspólnych dla wszystkich komponentów, a nie tylko wybiórczo dla właściwości i czy zachowania pojedynczych elementów,
- **kompleksowość systemu, biologia systemów złożonych** – nowe podejście w nauce; analizuje sposób, w jaki relacje pomiędzy komponentami złożonego systemu tworzą nowe jego właściwości i cechy, które nie są jedynie sumą poszczególnych właściwości osobnych komponentów,
- **nieliniowość** – w odróżnieniu do systemów liniowych cechujących się prostą i przewidywalną zależnością przyczynowo-skutkową, w systemach nieliniowych nie można zastosować zasady prawdopodobieństwa; są one zbyt chaotyczne i nieprzewidywalne, a efekt nie jest proporcjonalny do przyczyny,
- **synergetyka** – współdziałanie,
- **właściwości wspólne** wyłaniające się z pracy podsystemów i ich interakcji, co razem nadaje całemu organizmowi nową jakość i nowe, wspólne właściwości,
- **samoorganizacja, fraktalizacja i morfologiczna elastyczność organizmu.**

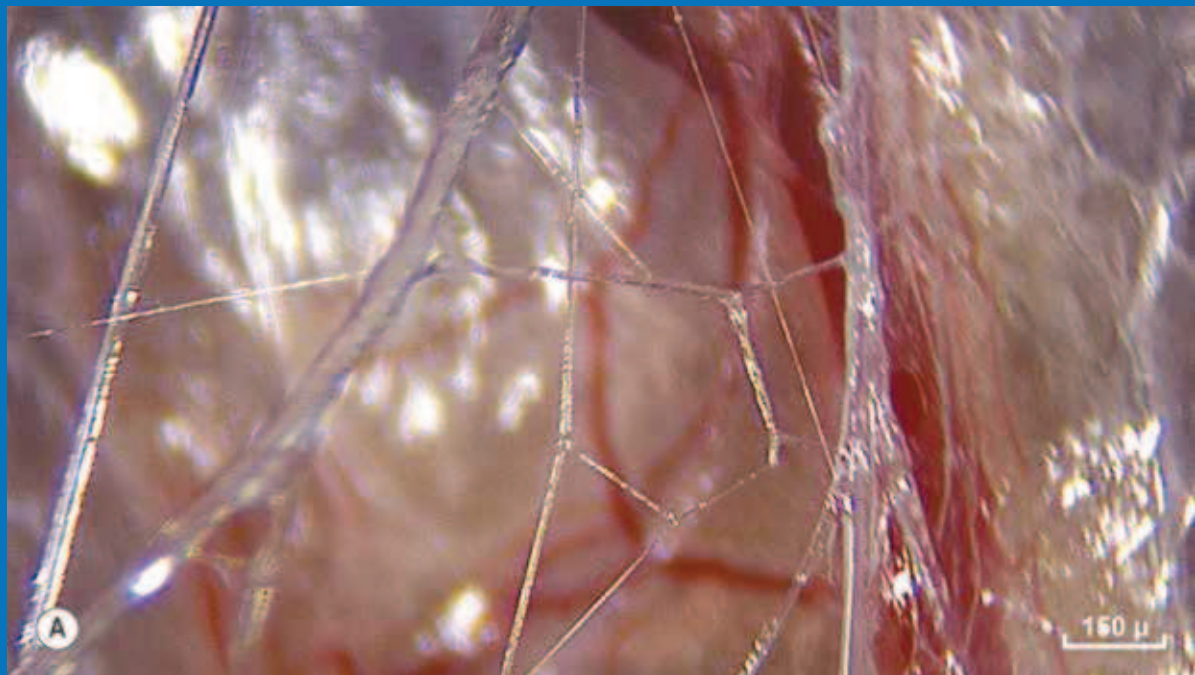
Aspekty te, jako wymagające dalszych pogłębionych badań i eksploracji również zostały wskazane przez innych autorów i badaczy [10].

Czy koncept biotensegracji jest w stanie w spójny sposób dać odpowiedź bądź chociaż wskazać ogólny zarys nowej koncepcji ruchu i organizacji architektury ciała z uwzględnieniem powyższych elementów? Według autorów stanowi on obiecującą nowość. Po wnikliwszym zapoznaniu się z tematem łatwo dostrzec, że koncept biotensegracji jest w stanie zaspokoić pytania o ruch i zachowanie tkanek oraz ciała na wielu poziomach skali. Te same zasady można zastosować do struktury, architektury i właściwości komórek, również w skali mezoskopowej w mikrowakuolach oraz w skali makro całego organizmu. Medium tutaj za każdym razem jest wspólne i jest to macierz pozakomórkowa. Wszyscy byli zaskoczeni, w jak szybkim czasie i jak niespodziewanie powieź zyskała rozgłos. Coraz to nowe badania potwierdzają jej unikalne właściwości. Czy za chwile nie pojawi się kolejny „kopciuszek” i wszyscy zostaną całkowicie zaskoczeni do tej pory nieznanymi odkryciami? Wraz z rozwojem technologii możliwe mogą okazać się badania tkanek glejowych mózgu, które mogą okazać się odpowiednikiem tkanek łącznych. Powieź długo była niedocenianą tkanką, uważaną jedynie za spoiwo dla innych, bardziej istotnych struktur, a obecnie wiadomo, że nie tylko do tego ogranicza się jej funkcja.

Pewne jest, że z rozwojem technologii sprzężony jest postęp nauk medycznych, a co za tym idzie – również nasze rozumienie wyników tych badań. ■



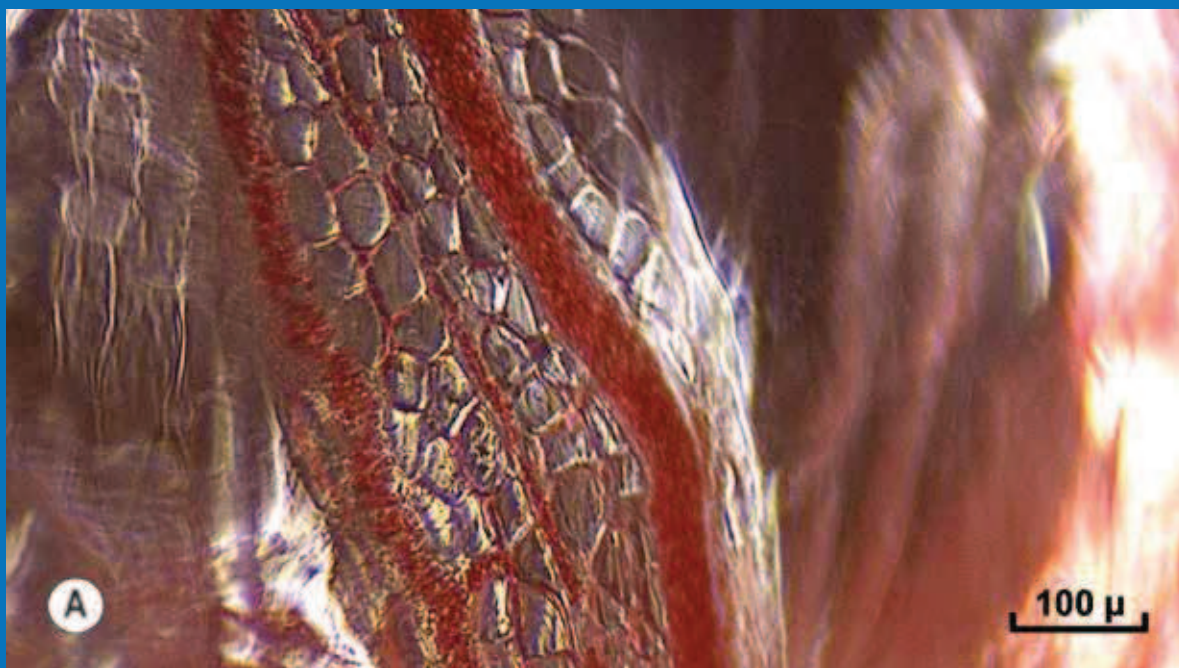
Zdj. 6–9. Przedstawiany w książce Guimberteau świat powiezi



Zdj. 7



Zdj. 8



Zdj. 9

PIŚMIENNICTWO:

1. Thompson D'A. On growth and form.
2. Still AT. Philosophy of osteopathy. CreateSpace Independent Publishing Platform 2015.
3. Schleip R. Fascia as a sensory organ.
4. Schleip R. Fascial plasticity.
5. Meli DB. Machines and the body, between anatomy and pathology. W: *Modèle Métaphore Machine*. Merveille. Gaillard A, Goffi JY, Roukhomovsky B, Roux S (red.), Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux 2012; 53-68.
6. Borelli GA. De motu animalium.
7. Scarr G. Biotensegracja. Strukturalna podstawa życia.
8. Guimberteau JC. Architektura żywej powięzi człowieka.
9. Braybrook S. The evolution of biomechanic.
10. Oschman J. *Medycyna energii w terapiach i życiu człowieka*. 2015