

## Cezary Rzymkowski

Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

# WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

## T1. Zarys historii biomechaniki

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

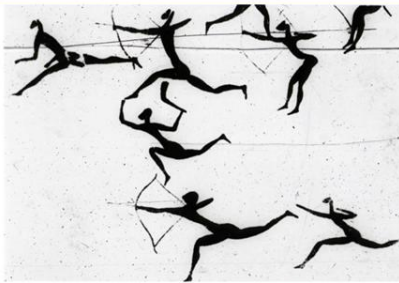


**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

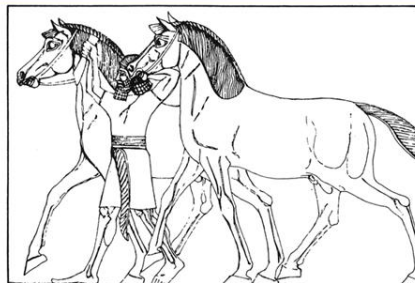
**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## POCZĄTKI



Rysunki naskalne, Sahara, ok. 3000 rok p.n.e.



Asyryjskie konie prowadzone przez wojownika. Plaskorzeźba z VII wieku p.n.e.,  
Luwr, Paryż



Malunek na wazie, kultura Mochica (Peru), ok roku 0 n.e.

Rysunki naskalne, RPA, ok 0 roku n.e.  
(Muzeum Iziko SA, Cape Town)



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## Ważne nazwiska — Arystoteles



### Arystoteles 384 – 322 p.n.e

„O Ruchu Zwierząt”

#### Poprawne twierdzenia:

- Zrozumienie funkcji kości i mięśni
- Zrozumienie sił reakcji podłoża w procesie przemieszczania się

#### Błędne twierdzenia:

- Serce jest źródłem ludzkiej inteligencji
- Ruchy mięśni są wynikiem *pneumy* (tchnienia), która przechodzi poprzez serce do mięśni



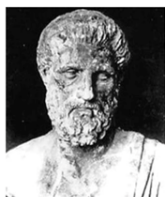
KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — Herofilus



### Herofilus (Aleksandria, 300 r. p.n.e.)

- ❖ Prekursor nowoczesnej anatomii dzięki wykorzystaniu sekcji zwłok.
- ❖ Dostrzegł różnicę między ścięgnami i nerwami oraz przypisał odczuwanie nerwom.
- ❖ Dostrzegł różnicę między tętnicami i żyłami.
- ❖ Uznał, że inteligencja/intelekt jest umiejscowiona w mózgu (za Alcamaenem, ok. 500 p.n.e.).



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — C.Galen (Galenus)



### Galen (Claudius Galenus, 131 – 201 n.e)

#### *De Motu Muscolorum* („O Ruchach Mięśni”)

- ❖ Dostrzegł różnicę między mięśniami szkieletowymi i innymi (serce, brzuch,...).
- ❖ Dostrzegł różnicę między agonistycznymi i antagonistycznymi mięśniami szkieletowymi oraz między nerwami odpowiedzialnymi za ruch oraz za odczuwanie.
- ❖ Stwierdził, że rodzaje skurczu mięśnia zależą od własności.
- ❖ Uznawał, że nerwy przewodzą „*spritus animalius*” z mózgu do mięśni, a zakończenia nerwowe wnikają do mięśni i zawierają *pneumę*.



#### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, udostępniany nieodpłatnie



## Ważne nazwiska — Leonardo da Vinci



### Leonardo da Vinci (1452 - 1519)

- ❖ Przeprowadzał sekcje zwłok w celu badania anatomii mięśni, stawów, kości, więzadeł, ścięgien, chrząstek, ... .
- ❖ Odrzucił teorię *pneumy*, zastąpił ją „*siłą duchową*”, formą energii, działającą poprzez nerwy lub mięśnie.



#### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, udostępniany nieodpłatnie



## Ważne nazwiska — Wesaliusz (A. van Wesale, Vesale)



### Wesaliusz (Andreas van Wesale, Andre Vesale, 1514 – 1564)

- ❖ W 1543 napisał dzieło *O budowie ludzkiego ciała* (*De humani corporis fabrica*). Pierwsze wydane drukiem dzieło o anatomii człowieka, oparte na wielu sekcjach wykonanych na ludzkich zwłokach.
- ❖ Przypisał właściwości kurczenia się mięśni ich budowie „składających się z wielu włókien” oraz sieci tętnic, żył oraz nerwów.



Human skeleton from Vesalius' book, *De Humani Corporis Fabrica Libri Septem* (from Singer, 1959, with permission of Oxford University Press).



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

#### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



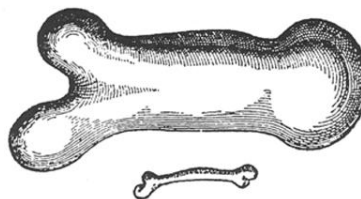
UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — Galileo Galilei



### Galileo Galilei (1569-1642)

- ❖ Traktat "*De Animalium Motibus*" (*O ruchu zwierząt* - nie opublikowany) zawierał, m.in., analizę ludzkiego skoku, chodu koni oraz owadów, a także analizę wytrzymałości materiałów biologicznych.



Rycina przedstawiająca porównanie zwykłej kości udowej do kości udowej potrzebnej to utrzymania zwierzęcia trzy razy większego, według Galileusza.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

#### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — W. Harvey, R. Descartes



### William Harvey (1578 – 1657)

- ❖ Wykazał, za pomocą wiwisekcji psów, że serce pompuje krew do tętnic.
- ❖ Odkrył krążenie krwi.



### Rene Descartes - Kartezjusz (1596 – 1650)

- ❖ Teoretyk, w traktacie *L'homme* (1664) przypisał zasady mechaniczne do ciała ludzkiego: **zwierzęta i ludzie to maszyny biologiczne**. Ludzie różnią się od zwierząt tym, że posiadają dusze.
- ❖ Leżąc w łóżku i obserwując zachowanie muchy latającej po pokoju, zdał sobie sprawę z **możliwości opisanego tego ruchu w kartezjańskim układzie współrzędnych**.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — Giovanni Borelli



### Giovanni Borelli (1608 – 1679)

- ❖ Próbował zintegrować fizjologię i fizykę, opracował geometryczną metodę opisywania złożonych ruchów człowieka.
- ❖ Opisał wpływ kierunku włókien mięśniowych na siły wytwarzane przez dane mięśnie.
- ❖ Opisał funkcje ruchu mięśni, np. stawu kolanowego - analiza statyczna.



Okladka książki Borellego "De Motu Animalium" (Borelli 1680)



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — Wielcy mechanicy



**Isaak Newton**  
(1642 – 1727)



**Leonard Euler**  
(1707 – 1783)



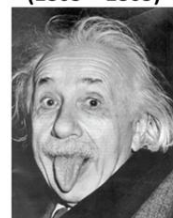
**William Rowan Hamilton**  
(1805 – 1865)



**Jean le Roud d'Alambert**  
(1717 – 1783)



**Joseph Luis de Langrange**  
(1736 – 1813)



**Albert Einstein**  
(1879 – 1955)



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — L.J.M. Daguerre



### **Louis Jacques Mandé Daguerre (....-1851)**

Malarz i dekorator, wynalazca (wraz z J.P. Niepce)  
„dagerotypii” – pierwszej metody robienia zdjęć (~1835).



### **Portret kompozytora Fryderyka Szopena**

Zdjęcie dagerotypowe, zrobione w atelier  
Louis – Auguste Bissona, w Paryżu, 1847.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



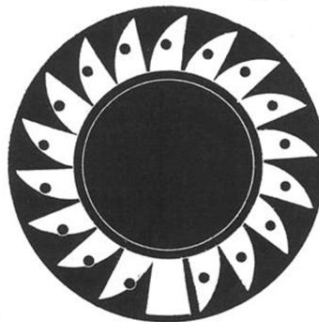
UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — P.J.C. Janssen



### Pierre Jules César Janssen (1824 – 1907)

Twórca „*revolver astronomique*”, urządzenia do nagrywania 48 kolejnych obrazów, oddzielonych od siebie o określone odstępy czasu. Możliwość nagrywania obiektów w ruchu.



Przykład 'revolver astronomique', obserwacja przemieszczania się Wenus na tarczy Słońca, 8 Grudnia 1874



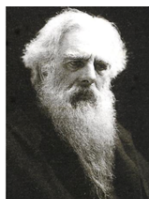
KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — E. J. Muybridge



### Eadweard James Muybridge

(Edward Muggeridge)

(1830 – 1904)

Brytyjski fotograf, działający w USA. Znany przede wszystkim jako autor zdjęć, wykonywanych zespołem sprzężonych aparatów fotograficznych, przedstawiających kolejne fazy ruchu np. galopującego konia, idącego człowieka itp. Jako wynalazca *zoopraksiskopu* – urządzenia pozwalającego na animowanie tych zdjęć – był jednym z pionierów kinematografii.



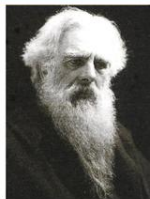
KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

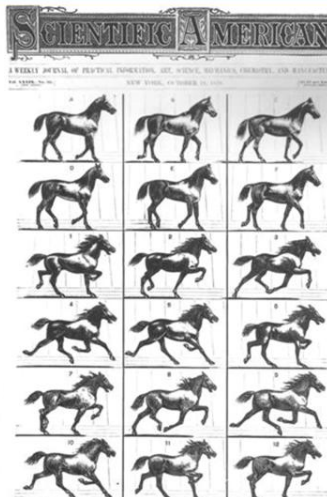


UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — E. J. Muybridge



Palo Alto w Kalifornii, gdzie Muybridge przeprowadzał swoje eksperymenty zlecone przez magnata Lelandą Stanforda, właściciela stadniny koni.



Okladka "Scientific American" z dnia 19 października 1878 r.



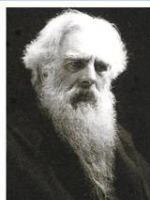
KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

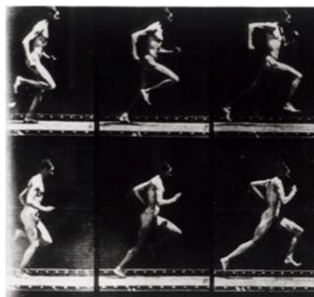


UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

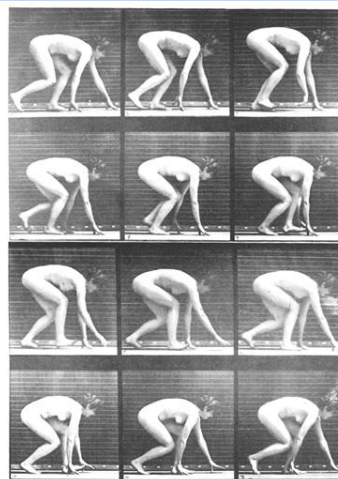
## Ważne nazwiska — E. J. Muybridge



Między 1884 a 1886 rokiem, pracując dla uniwersytetu w Pensylwanii wykonał 781 klisz (20 000 zdjęć) dokumentujących ruch ludzi i zwierząt.



Fotografie biegnącego mężczyzny, 1887



From the Catalogue of Animal Locomotion: plate n. 183. *Walking on hands and feet*, model n. 8, costume: nude, 12 lateral phases of movement, time intervals: 106 thousandths of a second. (From Muybridge, 1887, reprint 1955, 1979).



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## Ważne nazwiska — E.-J. Marey

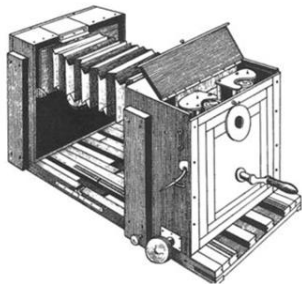


### Etienne- Jules Marey (1830 – 1904)

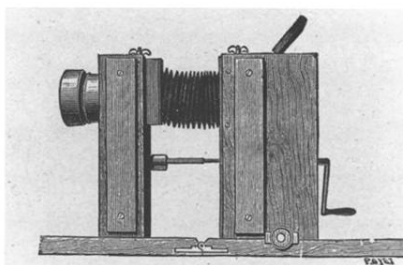
**-pionier biomechaniki oraz chronofotografii**

Wynalazca (przed braćmi Lumière) wszystkich głównych składników kamery do chronofotografii.

W 1893 roku skonstruował pierwszy projektor.



Kamera Marey'a, nazywana *chambre chronographique*.  
(Michealis, 1958)



Model Marey'a *chronophotographie à pellicule* z 1890 roku.  
Jego pierwsza kamera (cine-camera) została użyta do nagrania filmu w 1888 roku. (Marey, 1891)



#### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



## Ważne nazwiska — E.-J. Marey



- ❖ Wynalazca urządzeń pneumatycznych do korelowania zmierzonych sił reakcji podłoża oraz ruchu (specjalne buty, osłony kopyt, platformy pomiarowe).



Koń z zamontowanymi czujnikami na czterech kończynach. Jeździec trzyma urządzenie zapisujące wyniki - rytm biegu. (Marey, 1873)



#### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

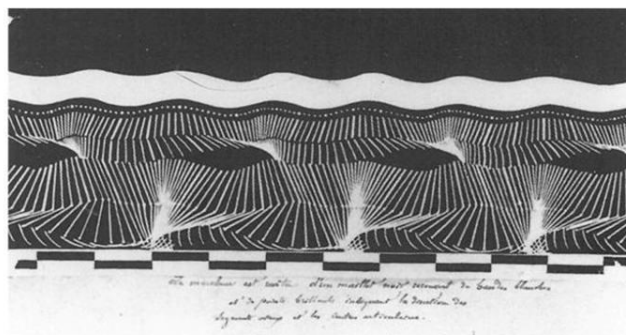
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



## Ważne nazwiska — E.-J. Marey



W 1882 roku Marey skonstruował tzw. 'Fotorewolwer' (*fusil photographique*), wykonujący na szklanym dysku dwanaście zdjęć na sekundę.



Seria zdjęć idącego człowieka, nagrana przez Marey'a na szklanym dysku, przy użyciu chronofotografii. Model ubrany był wczarny kostium z białymi pasami oznaczającymi pozycje kości jednego ramienia i przedramienia, jednej nogi oraz białymi punktami oznaczającymi stawy.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

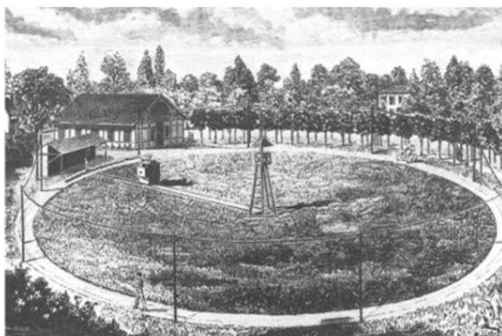
UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## Ważne nazwiska — E.-J. Marey



- ❖ Przekształcił naukę o ruchu z nauki polegającej na obserwacjach do nauki wykorzystującej do tego celu konkretne dane uzyskane podczas doświadczeń.
- ❖ Utworzył pierwsze kompleksowe laboratorium biomechaniczne.



„Station Physiologique”,  
Collège de France,  
Paryż, 1882.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

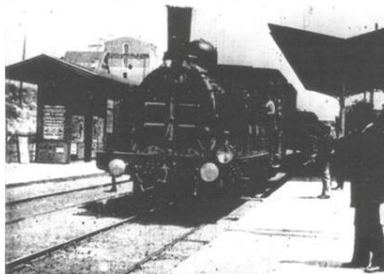


## Ważne nazwiska — Bracia Lumière



### Lumière Auguste (1862 – 1954) i Louis (1864 – 1948)

- ❖ Bracia Lumière 28 grudnia 1895 w Grand Café du Boulevard de Capucines w Paryżu, zorganizowali pierwszą publiczną projekcją filmu.



"Przyjazd pociągu", bracia Lumière, 1895. (Michaelis, 1958)

- ❖ Bracia wpadli na pomysł perforacji taśmy filmowej oraz skomercjalizowali sztukę tworzenia filmów.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA ROZWOJU

#### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — Ch.W. Braune, O. Fisher



### Christian Wilhelm Braune, 1863 – 1892, Otto Fisher, 1861 – 1902

- ❖ Przeprowadzili pierwszą trójwymiarową analizę ludzkiego chodu. Eksperyment miał miejsce w nocy 24/25 lipca 1891.
- ❖ Środki ciężkości i momenty bezwładności ciała i poszczególnych segmentów określali eksperymentalnie z wykorzystaniem mrożonych, wypreparowanych i pociętych piłą zwłok. Opracowali również sposób wyznaczania położenia środka ciężkości całego ciała dla żywych ludzi.



Badania nad wyznaczenie środka ciężkości ludzkiego ciała



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA ROZWOJU

#### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

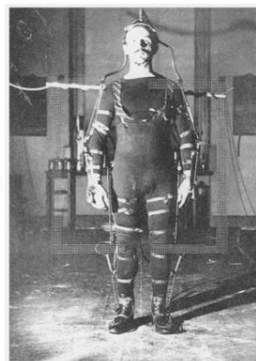


UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — Ch.W. Braune, O. Fisher



- ❖ Obiektem badań na żywym organizmie był żołnierz pułku z Saksonii o takich samych proporcjach i masie jak zbadane zwłoki, ubrany w czarny kostium z cienkimi rurkami oświetlonymi przez cewki Rhumkorff'a.
- ❖ Światło z cewek zostało utrwalone na szklanych płytkach w odstępach 0,0038s, co umożliwiło wyznaczenie środków obrotu poszczególnych części ciała względem siebie.
- ❖ Wykorzystano 4 kamery i specjalną ramkę odwzorowującą układ współrzędnych.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

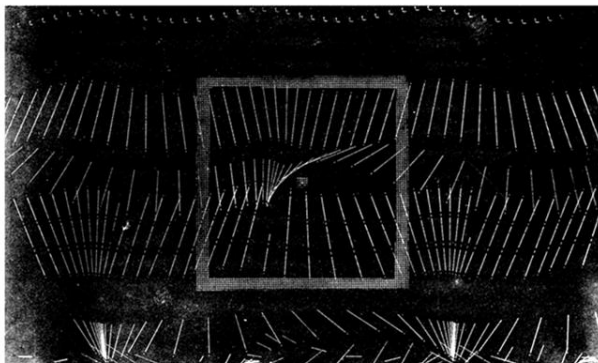
UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## Ważne nazwiska — Ch.W. Braune, O. Fisher



- ❖ Po kilku próbach, wybrano wyniki dwóch eksperymentów (dla badanego idącego bez obciążenia oraz dla przypadku ze standardowym ekwipunkiem wojskowym) zostały zachowane do analizy.



Naświetlona płyta z wynikiem badania



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## Ważne nazwiska — Ch.W. Braune, O. Fisher



- ❖ Zostało wykonane specjalne urządzenie do odczytywania położenia wybranych punktów ze zdjęć, z dokładnością 0,001 mm.



- ❖ Z zarejestrowanych współrzędnych środków ciężkości wyznaczono przebiegi przemieszczeń w przestrzeni (3D), a następnie – po dwukrotnym zróżniczkowaniu (metodą wykreslną)– przebiegi prędkości oraz przyspieszeń. Dzięki temu obliczono siły działające na organizm i jego poszczególne części, a także siły reakcji gruntu.

- ❖ „Ręcznie” wyliczenia zajęły Fisherowi kilka lat. Dziś – przy użyciu sprzętu komputerowego, wszystkie prace – w tym nagrania ruchu, można wykonać w ciągu kilku godzin lub nawet minut.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

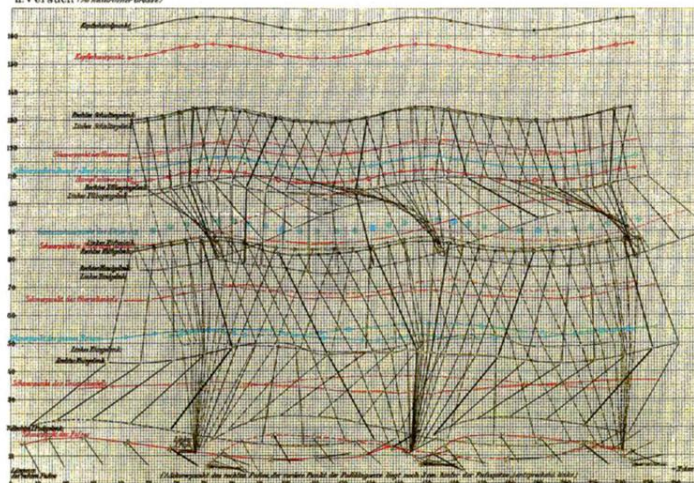


UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Ważne nazwiska — Ch.W. Braune, O. Fisher



II Versuch / In natürlicher Größe /



Przedstawienie całkowitego środka ciężkości, środków stawów oraz osi poszczególnych części ciała w trójwymiarowej osi współrzędnych.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

### WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie

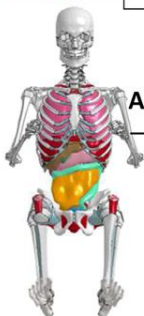
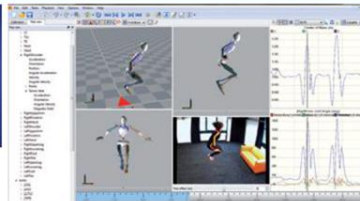
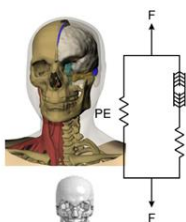


UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

## Wiek XX i początki XXI

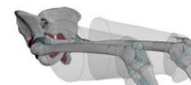
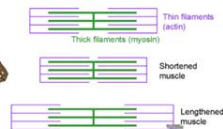
### Archibald Vivian Hill

— model mięśnia



### Andrew Fielding Huxley

— teoria ślizgowa mechanizmu skurczu mięśnia

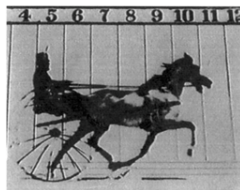


**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



## Uwagi końcowe, zalecana literatura

- ❖ Dodatkowy materiał filmowy:



**The Pioneers. The Origins of Scientific Cinematography.** Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen in coproduction with Centre National de la recherche scientifique (CNRS Audiovisuel), Paris and Istituto Luce S.p.A. Italoleggio Cinematografico, Roma, 1989.

- ❖ Podstawowe źródło wykorzystanych ilustracji — *Wikipedia*

- ❖ Warto przeczytać:

Tejszerska D., Światoński E., Gzik M.: *Biomechanika narządu ruchu człowieka*, Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom, 2011. (rozdz. 2, str. 13 –34)



**WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI**  
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



**Dziękuję za uwagę**



Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,  
udostępniany nieodpłatnie



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

