

Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



MODUL BIOMECHANIKA CHODU

Jednostka dydaktyczna D: ANALIZA INSTRUMENTALNA CHODU

D.2 NORMALNA BIOMECHANICZNA OCENA CHODU



D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

Spis treści:

- I. Cele
- II. Znaczenie danych normatywnych dotyczących chodu w praktyce klinicznej
- III. Przestrzenno-czasowa ocena prawidłowego chodu
- IV. Kinematyczna ocena chodu normalnego
- V. Kinetyczna ocena chodu normalnego
- VI. Ocena nacisków podszwowych podczas chodu normalnego
- VII. Elektromiograficzna ocena chodu prawidłowego
- VIII. Kluczowe idee
- IX. Bibliografia

D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

I. Cele

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that curves under the text "I. Cele".

I. Cele

1. Poznanie znaczenia danych normatywnych dotyczących chodu w praktyce klinicznej.

2. Zapoznać się z głównymi parametrami chodu człowieka, ich definicjami i znaczeniem klinicznym.

3. Poznanie wartości normatywnych biomechanicznej oceny chodu człowieka u osób zdrowych oraz wpływu wieku i płci na wyniki.

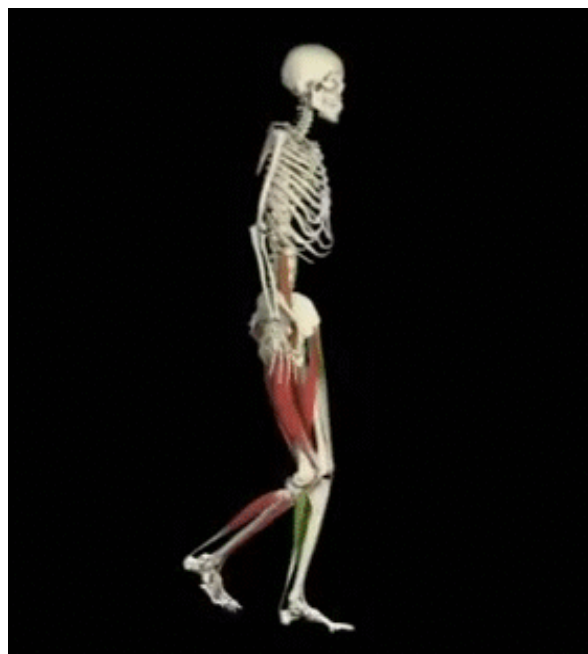
D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

II. Znaczenie danych normatywnych dotyczących chodu w praktyce klinicznej

A decorative blue brushstroke underline consisting of two parallel, slightly wavy lines.

II. ZNACZENIE DANYCH NORMATYWNYCH DOTYCZĄCYCH CHODU W PRAKTYCE KLINICZNEJ

Dlaczego musimy znać wzorzec chodu?



Porównanie

Diagnozowanie

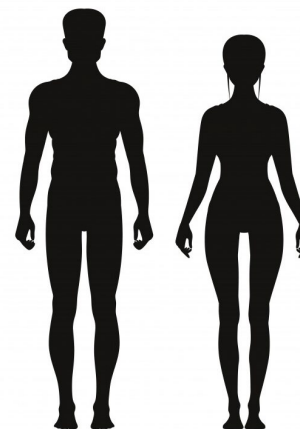
Leczenie

II. ZNACZENIE DANYCH NORMATYWNYCH DOTYCZĄCYCH CHODU W PRAKTYCE KLINICZNEJ

Jakie są różnice we wzorcu chodu w zdrowej populacji?



Wpływ płci



Wpływ wieku

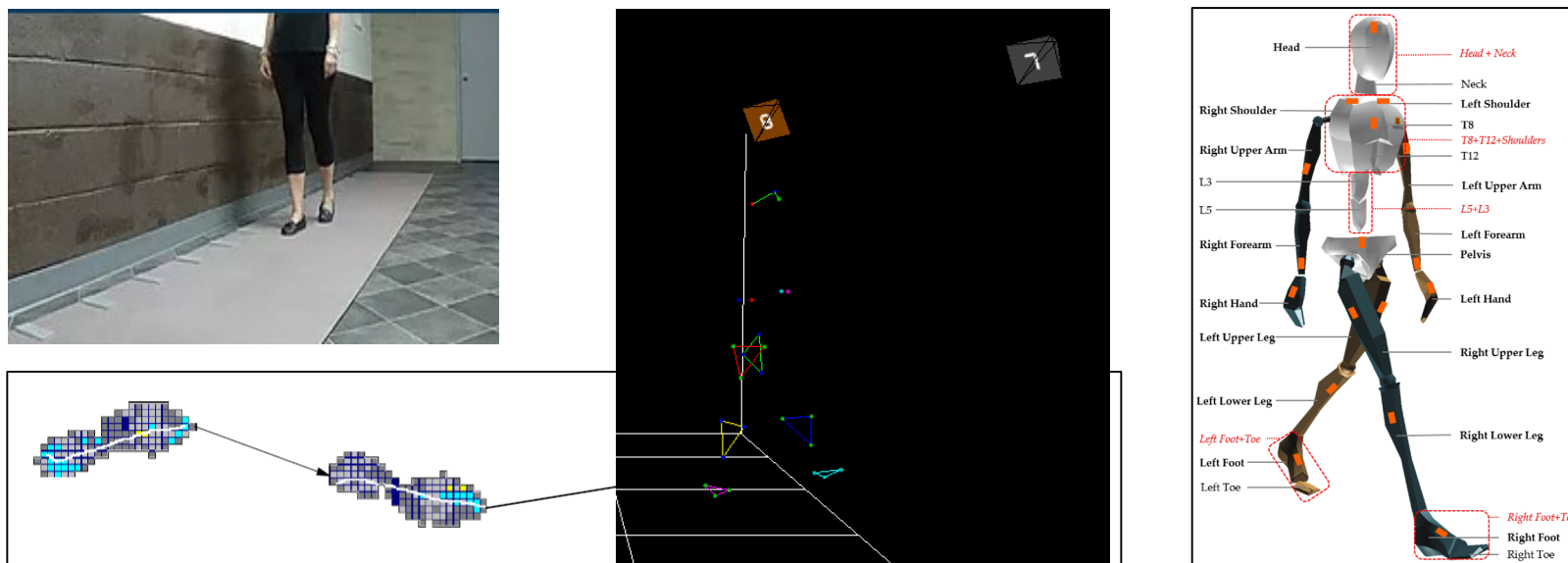
D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

III. Przestrzenno-czasowa ocena prawidłowego chodu

A decorative blue brushstroke underline consisting of two parallel, slightly wavy lines that sweep across the width of the slide.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

- Przyrząd do pomiaru parametrów przestrzenno-czasowych



Rysunek 1 - Narzędzia biomechaniczne. Po lewej: oprzyrządowany chodnik z GAITrite. Po środku: system fotogrametrii 3D firmy Kinescan/IBV. Po prawej: czujniki IMU firmy Xsens.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametr przestrzenno-czasowy

- Prędkość chodu / prędkość chodu (Gait velocity / gait speed) (m/s lub km/h): odległość przebyta przez ciało w jednostce czasu.
- Skorelowana z kilkoma parametrami zdrowotnymi.
- Warunki pomiaru przy preferowanej, szybkiej i wolnej prędkości chodu.

**Inni autorzy: 1,20 - 1,53 m/s
(Murray 1970, Chao 1983, Kadaba 1990, Perry 1992)**

Gait speed	High	Preferred	Low
gait speed [m/s]	1.86 ± 0.27	1.36 ± 0.17	1.16 ± 0.17

Ryc. 2. Wyniki prędkości chodu z pracy Pietraszewski B. i wsp. 2012. Uczestnikami badania byli młodzi mężczyźni o wysokości ciała 1795 ± 46 mm.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametr przestrzenno-czasowy

- Istotny efekt interakcji Wiek x Płeć na szybkość chodu.

Velocity [m/s]	All mean \pm SD All N=191	Males mean \pm SD All N=99 Young N=31 Middle N=22 Elderly N=46	Females mean \pm SD All N=92 Young N=36 Middle N=21 Elderly N=35
27.21 lat All	1.35 \pm 0.16	1.34 \pm 0.18	1.37 \pm 0.14
52.74 lat Young	1.36 \pm 0.15	1.37 \pm 0.17	1.36 \pm 0.13
68.01 lat Middle	1.41 \pm 0.19	1.41 \pm 0.23	1.40 \pm 0.14
68.01 lat Elderly	1.32 \pm 0.15	1.29 \pm 0.14	1.36 \pm 0.15

Ryc. 3. Wyniki prędkości chodu z badań Kobayashi Y. i wsp. 2016. Uczestnicy byli młodzi (średnia 27,21 lat), w średnim wieku (średnia 52,74 lat) i starsi (średnia 68,01 lat). Chód rejestrowany był z samodzielnie wybraną prędkością.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametr przestrzenno-czasowy

- Istotny wpływ płci na szybkość chodu osób zdrowych w wieku powyżej 70 lat.

Gait speed (cm/s)^{††}

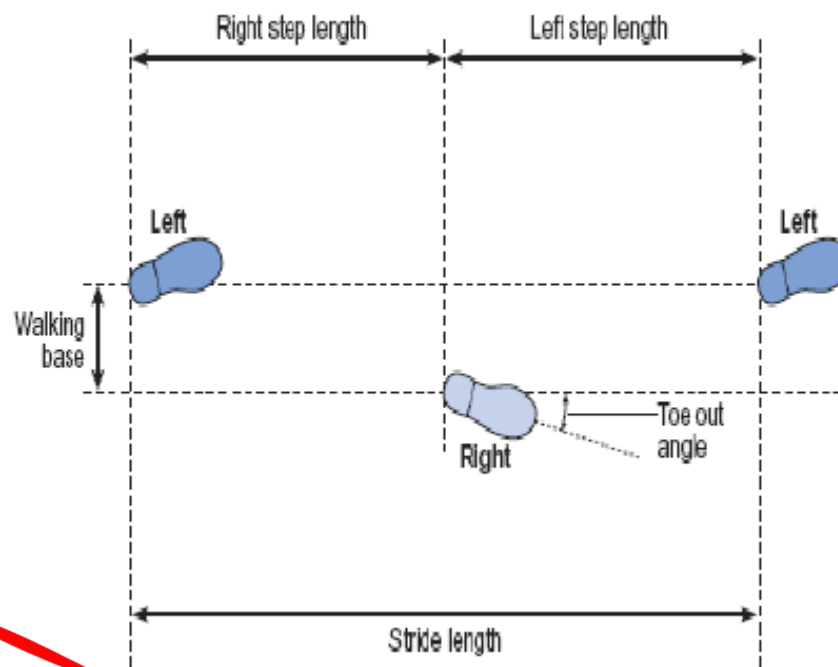
Men (N=108)				Women (N=186)			
70-74	75-79	80-84	85+	70-74	75-79	80-84	85+
N=27	N=30	N=37	N=14	N=33	N=77	N=43	N=33
117 ± 16	122 ± 15	112 ± 17	101 ± 22	116 ± 20	112 ± 17	101 ± 15	98 ± 20

Ryc. 4 - Wyniki prędkości chodu z Hollaman J. et al. 2011. Chód rejestrowany był z samodzielnie wybraną prędkością.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametr przestrzenno-czasowy

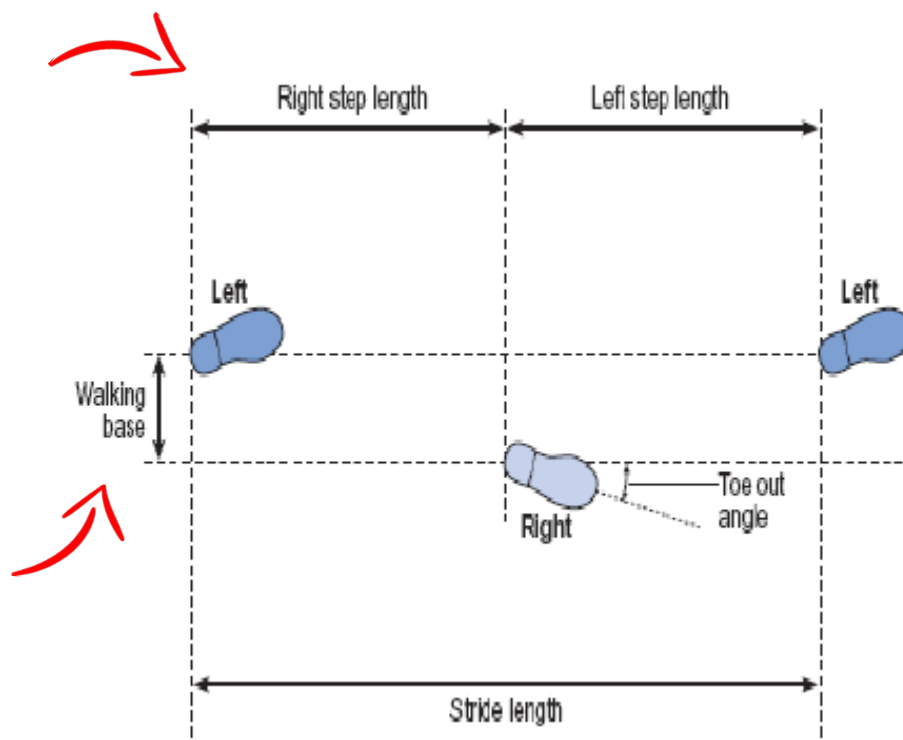
- Długość kroku (m): Przednio-tylna odległość między piętami dwóch kolejnych śladów tej samej stopy (od lewej do lewej, od prawej do prawej); dwa kroki (np. krok w prawo, po którym następuje krok w lewo) składają się na jeden rozkrok lub jeden cykl chodu.



III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametr przestrzenno-czasowy

- Długość kroku (m): Przednio-tylna odległość od pięty jednego odcisku stopy do pięty przeciwległego odcisku stopy.
- Szerokość kroku (m): Boczna odległość od środka pięty jednego odcisku stopy do linii progresji utworzonej przez dwa kolejne odciski stopy przeciwnej.



III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametr przestrzenno-czasowy

Gait speed	High	Preferred	Low
stride length [m]	1.73 ± 0.19	1.47 ± 0.13	1.35 ± 0.13
stride width [m]	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.03	0.16 ± 0.02
step length L [m]	0.73 ± 0.05	0.64 ± 0.04	0.60 ± 0.05
step length R [m]	0.69 ± 0.06	0.61 ± 0.06	0.58 ± 0.07

Ryc. 5. Wyniki parametrów przestrzennych z pracy Pietraszewski B. i wsp. 2012. Uczestnikami badania byli młodzi mężczyźni o wysokości ciała 1795 ± 46 mm.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametr przestrzenno-czasowy

- Płeć i wiek mają niezależny wpływ na długość kroku.
- W przypadku szerokości kroku, interakcja płci i wieku jest znacząca.

Variables	All mean ± SD All N= 191	Males mean ± SD All N=99 Young N= 31 Middle N=22 Elderly N=46	Females mean ± SD All N=92 Young N= 36 Middle N=21 Elderly N=35
Step length [cm]			
All	69.88 ± 6.90	71.23 ± 7.32	68.42 ± 6.10
Young	71.82 ± 5.88	73.09 ± 6.15	70.72 ± 5.42
Middle	70.46 ± 8.28	72.85 ± 9.46	67.96 ± 5.92
Elderly	67.96 ± 6.36	69.20 ± 6.31	66.33 ± 6.07
		1.46 m	1.41 m
		1.45 m	1.35 m
		1.38 m	1.32 m
Step width [cm]			
All	9.11 ± 2.81	9.63 ± 2.92	8.54 ± 2.57
Young	8.58 ± 2.83	8.81 ± 3.25	8.38 ± 2.40
Middle	9.32 ± 2.25	9.73 ± 2.41	8.89 ± 1.99
Elderly	9.43 ± 3.00	10.14 ± 2.79	8.49 ± 3.01

Ryc. 6. Wyniki parametrów przestrzennych z badań Kobayashi Y. i wsp. 2016. Uczestnicy byli młodzi (średnia wieku 27,21 lat), średni (średnia wieku 52,74 lat) i starsi (średnia wieku 68,01 lat). Chód rejestrowany był z samodzielnie wybraną prędkością.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametr przestrzenno-czasowy

- Istotny wpływ wieku na długość kroku i rozkroku u osób zdrowych powyżej 70 roku życia. Wraz z normalizacją długości zanika wpływ płci.

Parameter	Men (N= 108)				Women (N= 186)			
	70-74	75-79	80-84	85+	70-74	75-79	80-84	85+
	N=27	N=30	N=37	N=14	N=33	N=77	N=43	N=33
Step length (cm) ^{‡‡}	69 ± 8	68 ± 7	65 ± 8	59 ± 10	61 ± 9	59 ± 7	55 ± 7	54 ± 9
Stride length (cm) ^{§§}	139 ± 14	137 ± 12	131 ± 17	119 ± 21	123 ± 17	118 ± 15	111 ± 14	109 ± 18
Step width (cm) ^{¶¶}	9.7 ± 3.0	8.9 ± 5.2	11.2 ± 4.0	9.9 ± 4.8	7.0 ± 3.5	7.7 ± 4.0	7.9 ± 4.1	9.1 ± 2.6
Step width SD (cm)	3.1 ± 2.2	2.9 ± 1.9	3.3 ± 2.3	2.8 ± 1.2	3.4 ± 2.4	3.2 ± 2.5	3.6 ± 3.1	3.0 ± 1.1

Ryc. 7 - Wyniki parametrów przestrzennych z badań Hollaman J. et al. 2011. Chód rejestrowany był z wybraną przez siebie prędkością.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

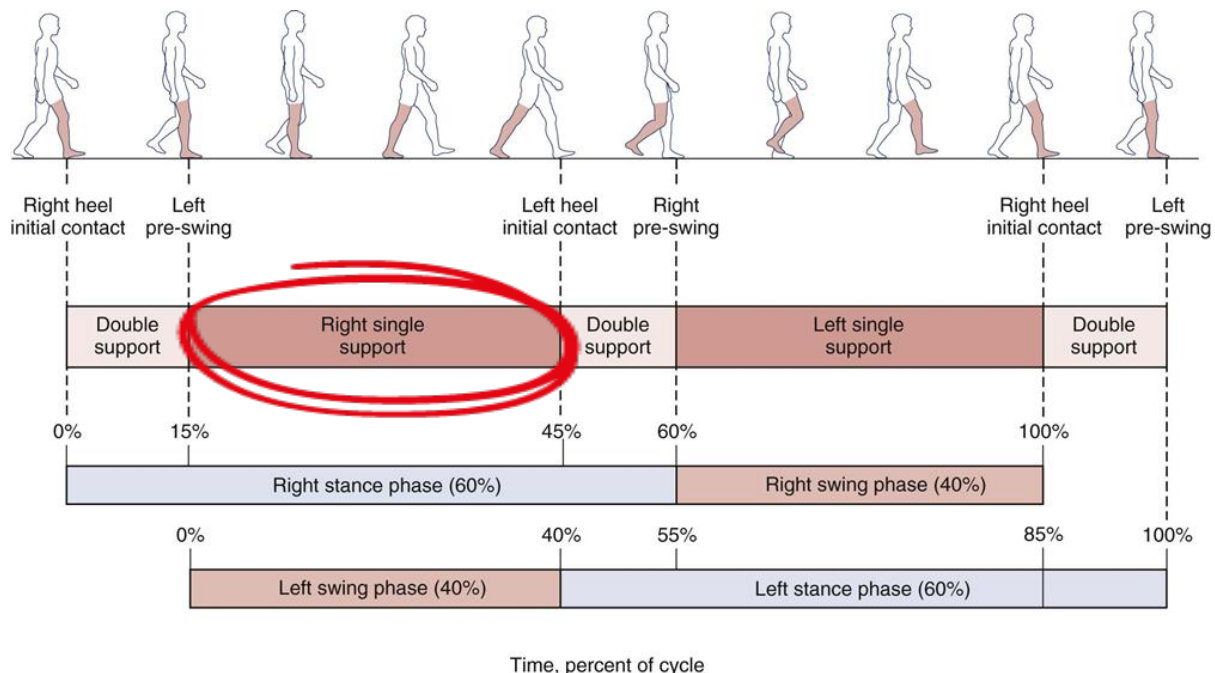
Parametry czasowe

- Kadencja (kroki/min): Liczba kroków na minutę, czasami określana jako tempo kroków.
- Czas kroku - Step time (s): Czas, który upłynął od pierwszego kontaktu jednej stopy do pierwszego kontaktu stopy przeciwnej.
- Czas kroku - Stride time (s): Czas, jaki upływa pomiędzy początkowym kontaktem dwóch kolejnych kroków tej samej stopy.
- Czas stania (s): Czas upływający między początkowym a ostatnim kontaktem pojedynczego kroku.
- Faza wymachu (s): Czas upływający pomiędzy ostatnim kontaktem bieżącego kroku a początkowym kontaktem następnego kroku tej samej stopy.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametry czasowe

- Czas pojedynczego podporu (s): Czas, który upłynął pomiędzy ostatnim kontaktem przeciwnego kroku stopy a początkowym kontaktem następnego kroku tej samej stopy.

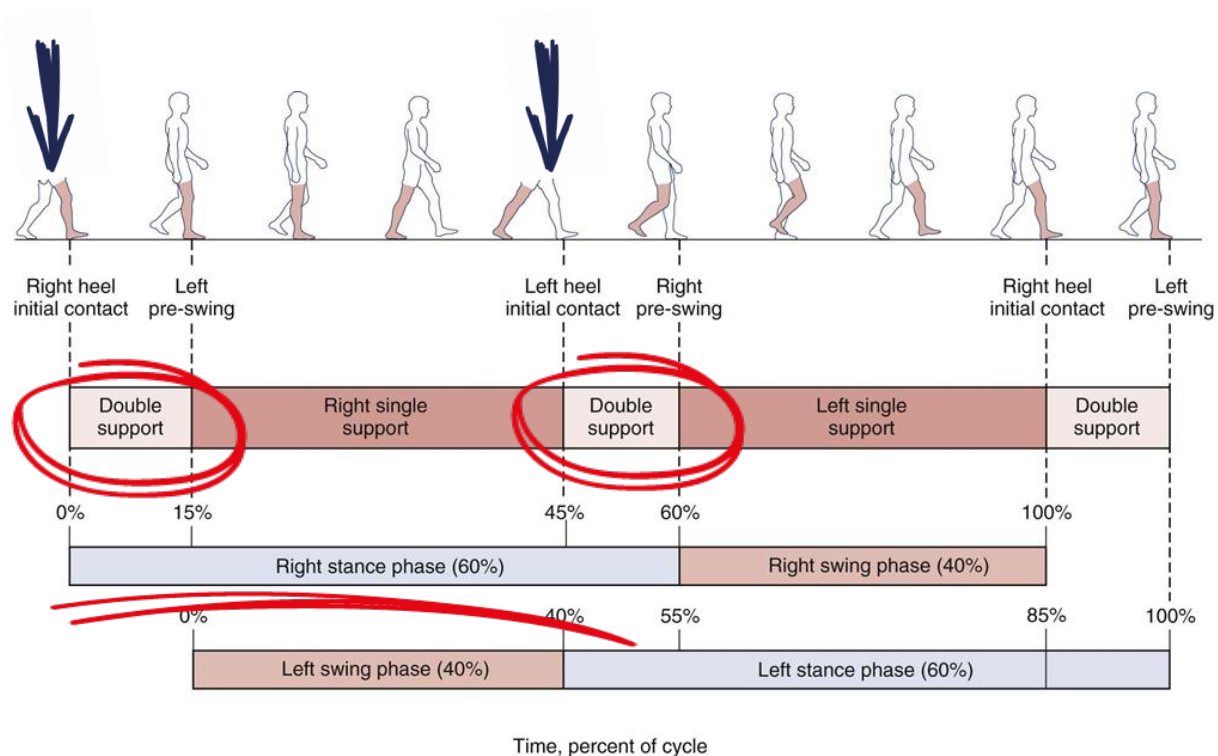


Ryc. 8. Cykl chodu i segmentacja czasowa (%). Obraz z www.musculoskeletalkey.com

III. SPATIOTEMPORAL ASSESSMENT OF NORMAL GAIT

Parametry czasowe

- Czas podwójnego podporu (s): Suma czasu, który upłynie podczas dwóch okresów podwójnego podporu w cyklu chodu.



Ryc. 8. Cykl chodu i segmentacja czasowa (%). Obraz z www.musculoskeletalkey.com

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametry czasowe

Inni autorzy: 102 - 117 kroków / min.
(Murray 1970, Chao 1983, Kadaba 1990, Perry 1992)

Gait speed	High	Preferred	Low
cadence [steps/min]	128.4 ± 8.4	110.4 ± 8.4	102.6 ± 7.2
stride time (cycle time) [s]	0.94 ± 0.06	1.09 ± 0.8	1.18 ± 0.08
stance duration R [s]	0.61 ± 0.04	0.71 ± 0.06	0.79 ± 0.07
swing duration R [s]	0.33 ± 0.02	0.36 ± 0.03	0.39 ± 0.02
double stance duration R [s]	0.14 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.20 ± 0.03
stance duration L [s]	0.60 ± 0.05	0.72 ± 0.06	0.78 ± 0.07
swing duration L [s]	0.34 ± 0.02	0.37 ± 0.03	0.39 ± 0.02
double stance duration L [s]	0.13 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.20 ± 0.02

Ryc. 9- Wyniki parametrów czasowych z pracy Pietraszewski B. i wsp. 2012. Uczestnikami badania byli młodzi mężczyźni o wysokości ciała 1795 ± 46 mm.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametry czasowe

- Efekt interakcji wieku i płci na czas trwania postawy i wymachu.

Variables	All mean ± SD All N= 191	Males mean ± SD All N=99 Young N= 31 Middle N=22 Elderly N=46	Females mean ± SD All N=92 Young N= 36 Middle N= 21 Elderly N= 35
Stance time [s]			
All	0.59 ± 0.05	0.61 ± 0.05	0.57 ± 0.05
Young	0.60 ± 0.05	0.61 ± 0.05 1,03	0.59 ± 0.04 1,00
Middle	0.57 ± 0.05	0.59 ± 0.05 0,99	0.55 ± 0.03 0,94
Elderly	0.58 ± 0.05	0.61 ± 0.04 1,03	0.55 ± 0.04 0,94
Swing time [s]			
All	0.41 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.40 ± 0.03
Young	0.42 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.41 ± 0.03
Middle	0.40 ± 0.04	0.40 ± 0.05	0.39 ± 0.02
Elderly	0.41 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.39 ± 0.03

Ryc. 10. Wyniki parametrów przestrzennych z badań Kobayashi Y. i wsp. 2016. Uczestnicy byli młodzi (średnia wieku 27,21 lat), średni (średnia wieku 52,74 lat) i starsi (średnia wieku 68,01 lat). Chód rejestrowany był z samodzielnie wybraną prędkością.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametry czasowe

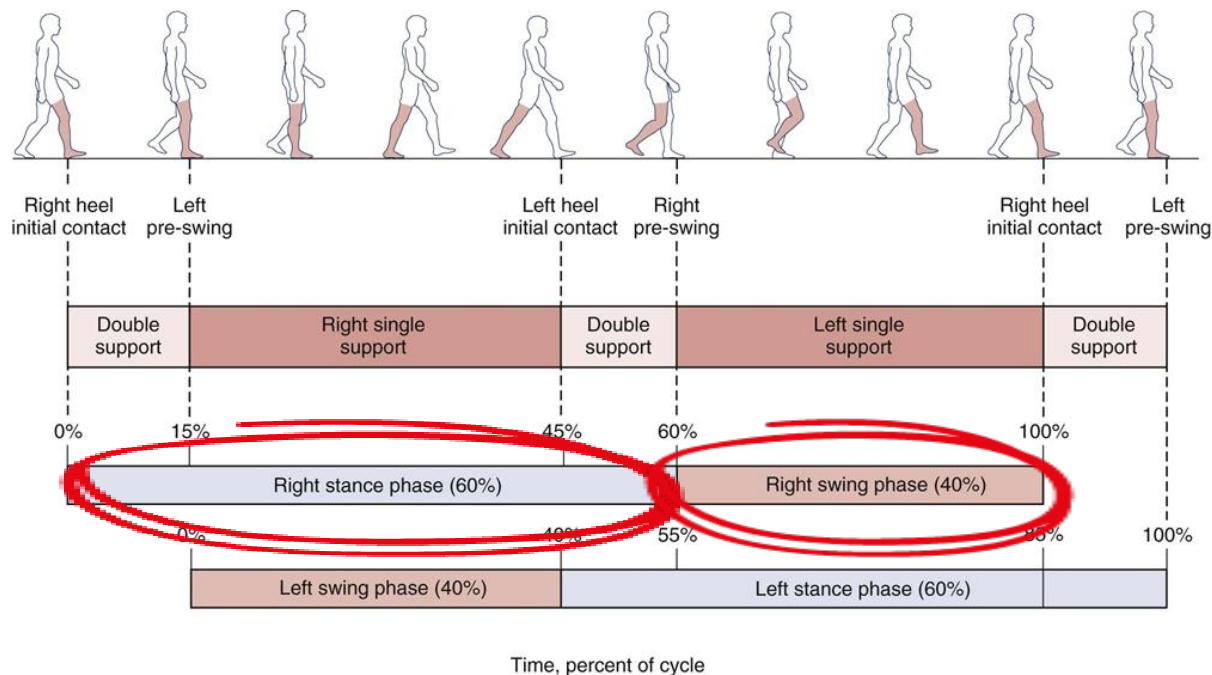
Parameter	Men (N=108)				Women (N=186)			
	70-74	75-79	80-84	85+	70-74	75-79	80-84	85+
	N=27	N=30	N=37	N=14	N=33	N=77	N=43	N=33
Rhythm								
Cadence (steps/min)*	102 ± 8	106 ± 10	103 ± 8	102 ± 11	113 ± 20	114 ± 13	110 ± 9	108 ± 10
Step time (s)†	0.59 ± 0.05	0.56 ± 0.05	0.59 ± 0.04	0.59 ± 0.08	0.53 ± 0.06	0.53 ± 0.06	0.55 ± 0.05	0.56 ± 0.05
Stride time (s)‡	1.18 ± 0.08	1.13 ± 0.09	1.16 ± 0.08	1.19 ± 0.14	1.06 ± 0.13	1.06 ± 0.12	1.10 ± 0.09	1.12 ± 0.11
Swing time (s)§	0.43 ± 0.03	0.41 ± 0.03	0.42 ± 0.04	0.42 ± 0.05	0.39 ± 0.05	0.38 ± 0.05	0.39 ± 0.04	0.40 ± 0.04
Stance time (s)¶	0.75 ± 0.07	0.72 ± 0.06	0.74 ± 0.06	0.78 ± 0.11	0.68 ± 0.10	0.67 ± 0.08	0.71 ± 0.07	0.72 ± 0.09
Single support time (s)#	0.44 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.42 ± 0.04	0.42 ± 0.04	0.39 ± 0.06	0.38 ± 0.06	0.39 ± 0.04	0.40 ± 0.04

Ryc. 11 - Wyniki parametrów przestrzennych z badania Hollaman J. et al. 2011. Chód rejestrowany był z wybraną przez siebie prędkością.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametry czasowe

- **Czas stania (%GC):** Czas stania znormalizowany do czasu kroku.
- **Czas wymachu (%GC):** Czas wymachu znormalizowany do czasu kroku.

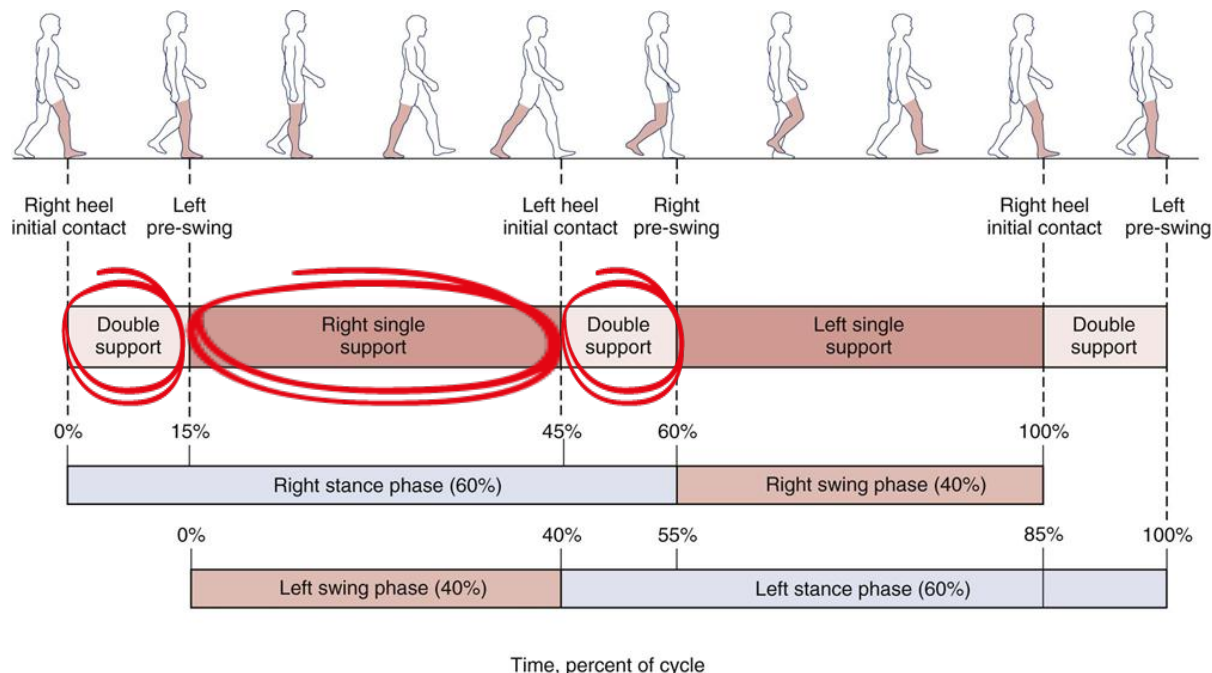


Ryc. 7. Cykl chodu i segmentacja czasowa (%). Obraz z www.musculoskeletalkey.com

III SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametry czasowe

- Czas pojedynczego podporu (%GC):
Czas pojedynczego podparcia znormalizowany do czasu rozkroku.
- Czas podwójnego wsparcia (%GC):
Czas podwójnego wsparcia znormalizowany do czasu kroku.



Ryc. 7. Cykl chodu i segmentacja czasowa (%). Obraz z www.musculoskeletalkey.com

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametry czasowe

- Czas stania zmniejsza się, a względny czas wymachu zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości.

Gait speed	High	Preferred	Low
relative stance duration R [%]	64.6 ± 1.3	65.1 ± 3.6	66.9 ± 1.4
relative swing duration R [%]	35.4 ± 1.3	33.3 ± 1.9	33.1 ± 1.4
relative dbl stance durat. R [%]	14.4 ± 1.5	16.4 ± 1.4	16.9 ± 1.7
relative stance duration L [%]	64.9 ± 0.9	62.2 ± 1.4	66.6 ± 1.6
relative swing duration L [%]	36.0 ± 0.9	33.8 ± 1.4	33.3 ± 1.6
relative dbl stance durat. L [%]	14.4 ± 1.0	16.7 ± 2.0	16.6 ± 1.3

Ryc. 12. Wyniki parametrów temporofazowych z pracy Pietraszewski B. i wsp. 2012. Uczestnikami badania byli młodzi mężczyźni (średnia wieku 22 ± 1 lat) o wysokości ciała 1795 ± 46 mm.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametry czasowe

Variables	All mean \pm SD	Males mean \pm SD	Females mean \pm SD	Faza stania (% cykl chodu)	
	All N=191	All N=99 Young N=31 Middle N=22 Elderly N=46	All N=92 Young N=36 Middle N=21 Elderly N=35		
Stance time [s]				59.22	59
All	0.59 \pm 0.05	0.61 \pm 0.05	0.57 \pm 0.05	59.59	58.51
Young	0.60 \pm 0.05	0.61 \pm 0.05	0.59 \pm 0.04	59.22	58.51
Middle	0.57 \pm 0.05	0.59 \pm 0.05	0.55 \pm 0.03	Faza wymachu (% cykl chodu)	
Elderly	0.58 \pm 0.05	0.61 \pm 0.04	0.55 \pm 0.04	40.77	41
Swing time [s]				40.40	41.48
All	0.41 \pm 0.03	0.42 \pm 0.03	0.40 \pm 0.03	40.77	41.48
Young	0.42 \pm 0.03	0.42 \pm 0.03	0.41 \pm 0.03		
Middle	0.40 \pm 0.04	0.40 \pm 0.05	0.39 \pm 0.02		
Elderly	0.41 \pm 0.03	0.42 \pm 0.03	0.39 \pm 0.03		

Ryc. 13. Wyniki pomiarów parametrów temporofazowych z badań Kobayashi Y. i wsp. 2016. Uczestnicy byli młodzi (śr. 27,21 lat), średni (śr. 52,74 lat) i starsi (śr. 68,01 lat). Chód rejestrowany był z samodzielnie wybraną prędkością.

III. SPATIOTEMPORALNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Parametry czasowe


- U osób powyżej 70 roku życia czas podwójnego podparcia różnił się w zależności od płci.
- Również wiek miał wpływ na czas podwójnego podparcia.

Parameter	Men (N=108)				Women (N=186)			
	70-74	75-79	80-84	85+	70-74	75-79	80-84	85+
	N=27	N=30	N=37	N=14	N=33	N=77	N=43	N=33
Swing (%GC)	36.6 ± 1.5	36.7 ± 1.5	36.6 ± 2.8	35.1 ± 2.69	36.6 ± 2.6	36.1 ± 3.0	35.5 ± 2.5	35.7 ± 2.6
Stance (%GC)	63.2 ± 2.1	64.0 ± 2.5	63.8 ± 2.7	64.9 ± 2.7	63.3 ± 3.1	63.9 ± 3.0	64.5 ± 2.6	64.5 ± 2.5
Single support (%GC)	37.1 ± 1.8	37.0 ± 1.7	36.5 ± 2.2	35.2 ± 2.1	37.0 ± 3.20	35.8 ± 4.8	35.6 ± 2.4	35.7 ± 2.8
Double support (%GC)	26.3 ± 3.0	26.5 ± 2.3	27.4 ± 4.7	30.3 ± 3.5	27.14 ± 4.0	28.4 ± 6.4	29.0 ± 4.6	28.7 ± 4.8

Rysunek 14 - Wyniki parametrów temporofazowych z badań Hollaman J. i wsp. 2011. Chód rejestrowany był przy samodzielnie wybranej prędkości.

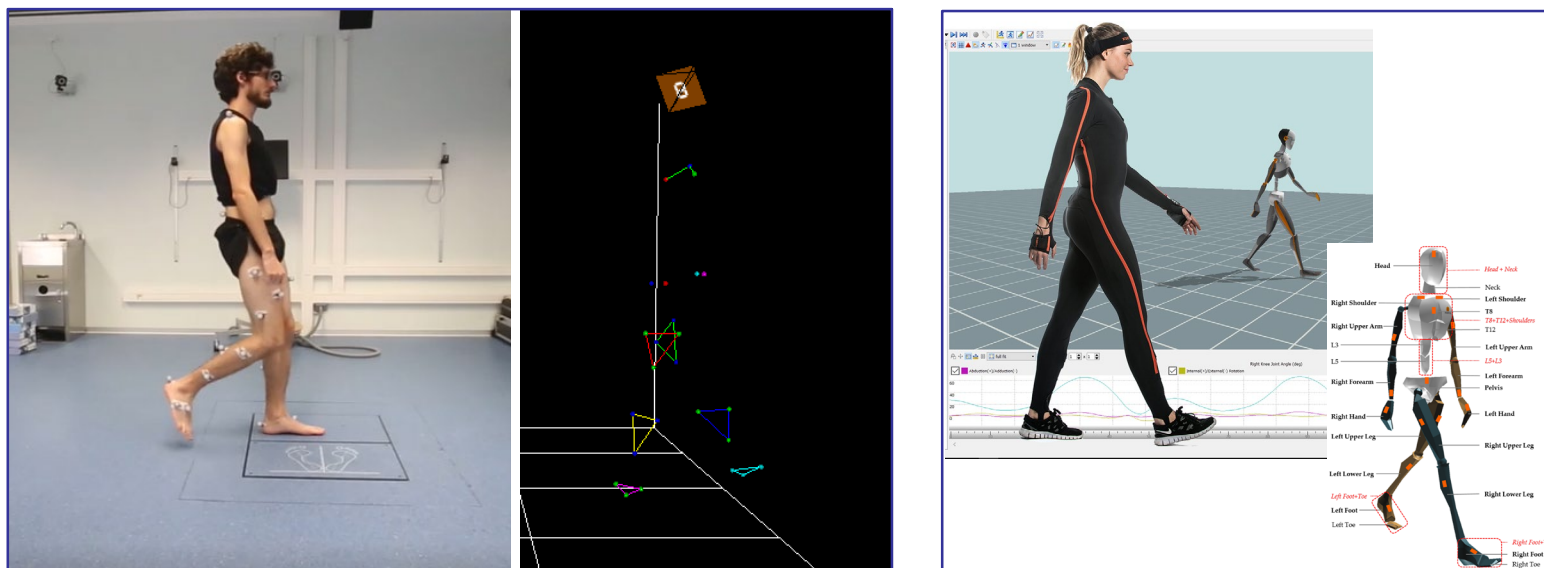
D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

IV. Kinematyczna ocena normalnego chodu

A decorative blue brushstroke underline consisting of two parallel, slightly wavy lines that sweep across the width of the slide.

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

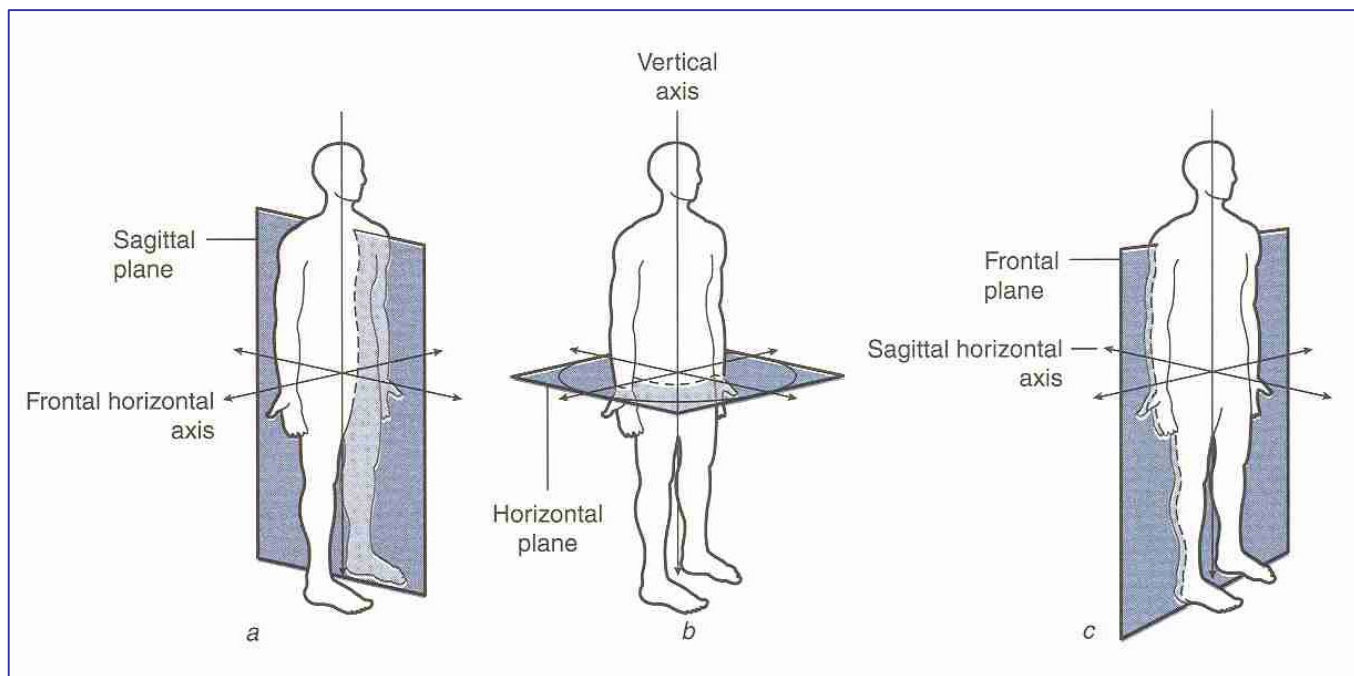
- Przyrząd do pomiaru parametrów kinematycznych



Rysunek 1 - Narzędzia biomechaniczne. Po lewej: system fotogrametrii 3D firmy Kinescan/IBV. Po prawej: czujniki IMU firmy Xsens (Motion Capture System).

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Płaszczyzny ruchu



Rysunek 2 - Płaszczyzny ruchu. Kinematyka chodu opisana jest w (a) płaszczyźnie strzałkowej, (b) płaszczyźnie poziomej i poprzecznej oraz (c) płaszczyźnie czołowej.

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

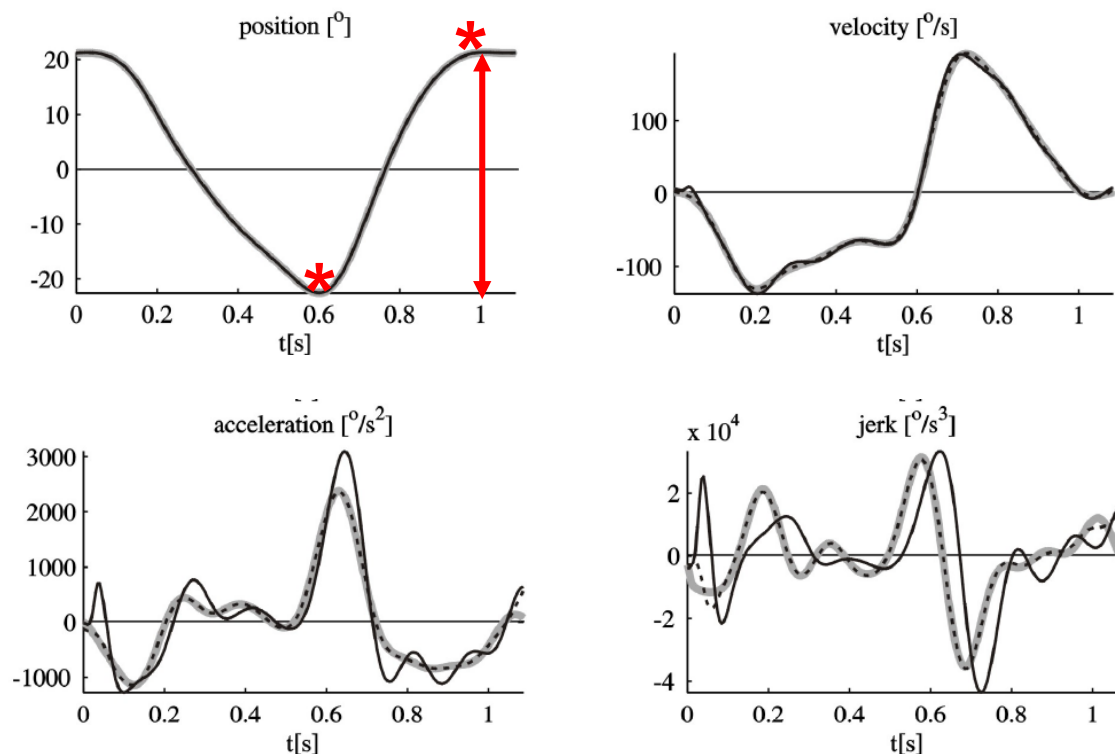
Krzywe ruchu

CZOŁOWA	STRZAŁKOWA	POPZRZECZNA
-	Zgięcie grzbietowe i podeszwowe	Rotacja stopy
-	Zgięcie i wyprost kolana	-
Odwodzenie-przewodzenie biodra	Zgięcie i wyprost biodra	Rotacja biodra
Skośność miednicy	Pochylenie miednicy	Rotacja miednicy

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Rezultaty ruchów stawów

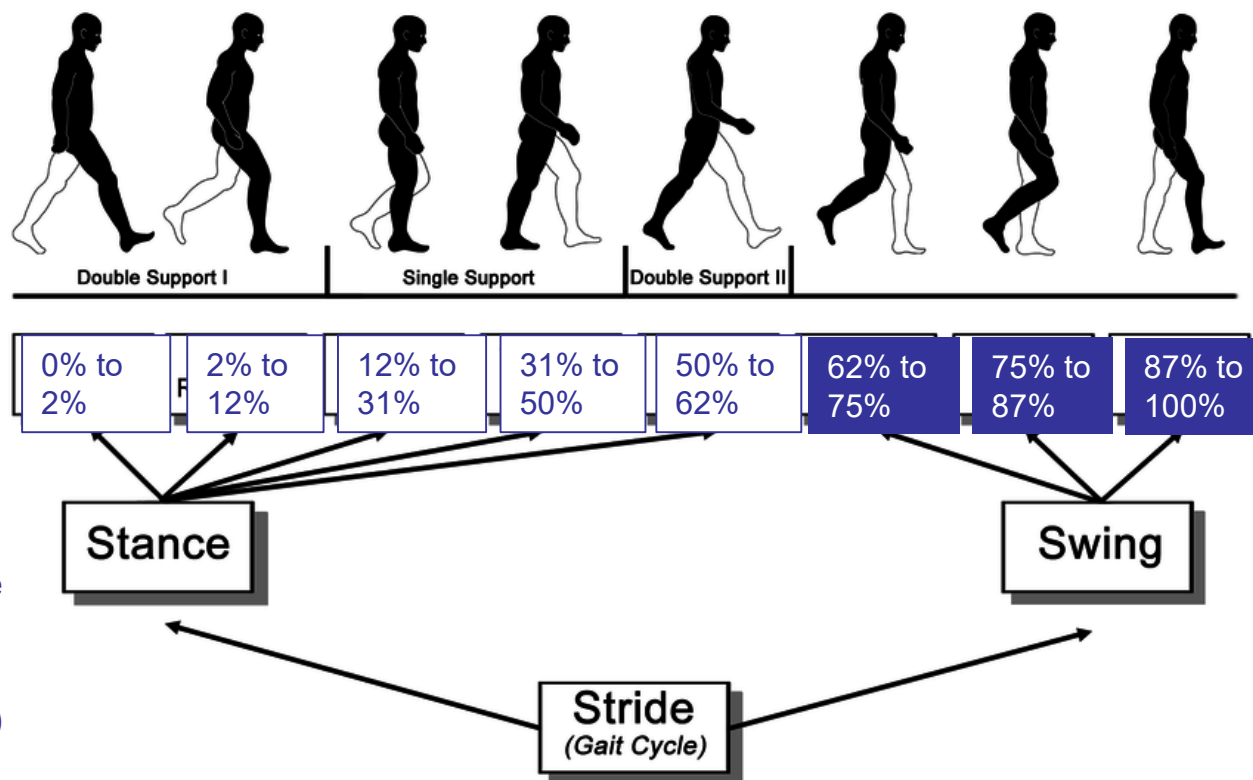
- Zakres ruchu
- Maksymalne zgięcie/wyprost
- Prędkość kątowna
- Przyspieszenie kątowe
- Szarpnięcie



Rysunek 3 - Szacunkowe wartości położenia kątowego, prędkości, przyspieszenia i szarpnięcia biodra z De Groot, F. et al. 2008

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Przypominamy: Okresy i fazy cyklu chodu



Ryc. 5 - Okres i fazy cyklu chodu. W każdej podfazie pokazany jest procent chodu, w którym ma ona miejsce. (Perry J i Burnfield J. 2010)

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka stawu skokowego

- Płaszczyzna strzałkowa.
- Kontakt początkowy: pozycja neutralna.
- Reakcja na obciążenie: 1° zgięcia podszwowego.
- Postawa końcowa: 1 zgięcie grzbietowe.
- Mid/termina swing: zgięcie grzbietowe.

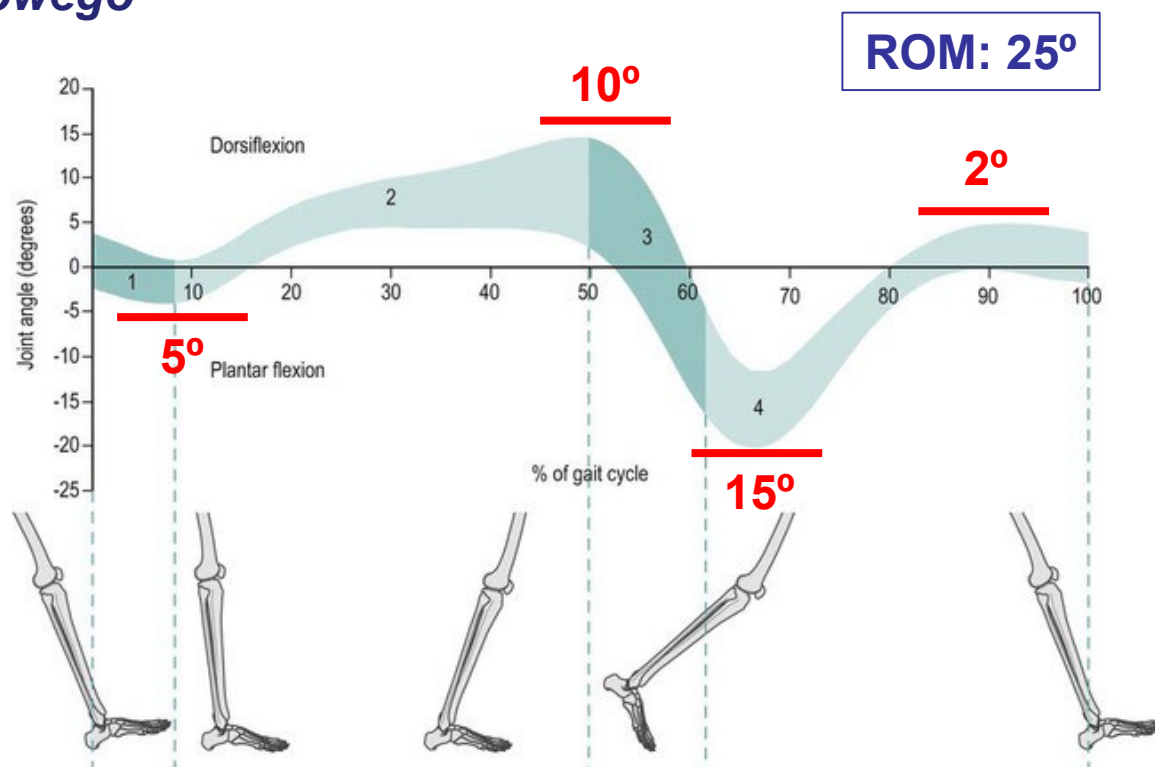


Figure 6 – Ankle movement in sagittal plane through gait cycle.
Image from Richards J. 2015

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka stopy

- Staw podskokowy i mają mieralne łuki ruchu podczas chodzenia.
- Staw krzyżowo-biodrowy pozwala na inwersję i ewersję.

Subtalar joint allows inversion and eversion

- Początkowy kontakt: pozycja neutralna.

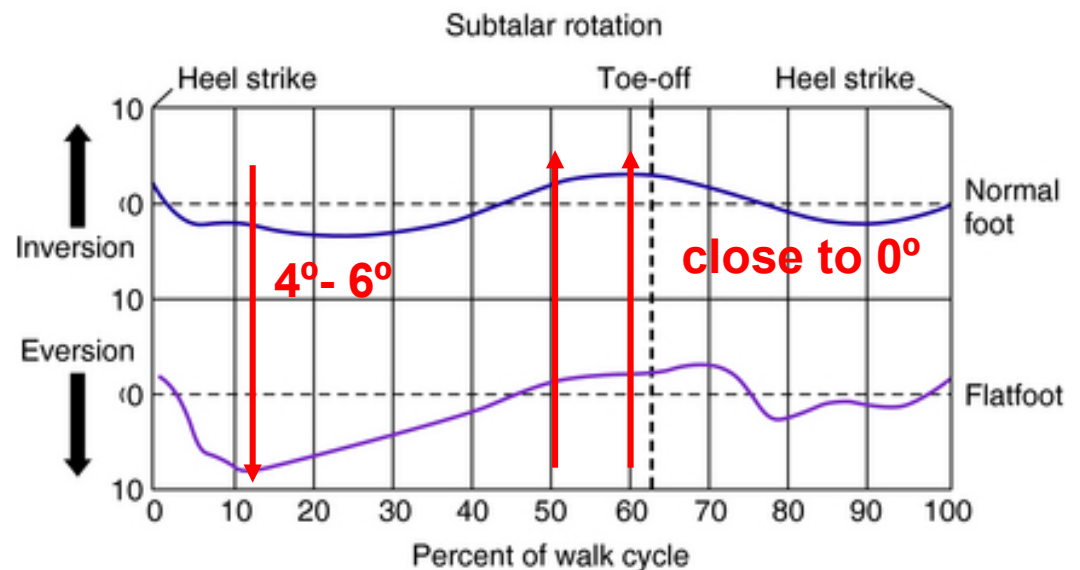
Initial contact: neutral position.

- W połowie kroku: maksymalne wyprostowanie.

Midstance: maximum eversion.

- Faza wymachu: pozycja neutralna.

Faza wymachu: pozycja neutralna.

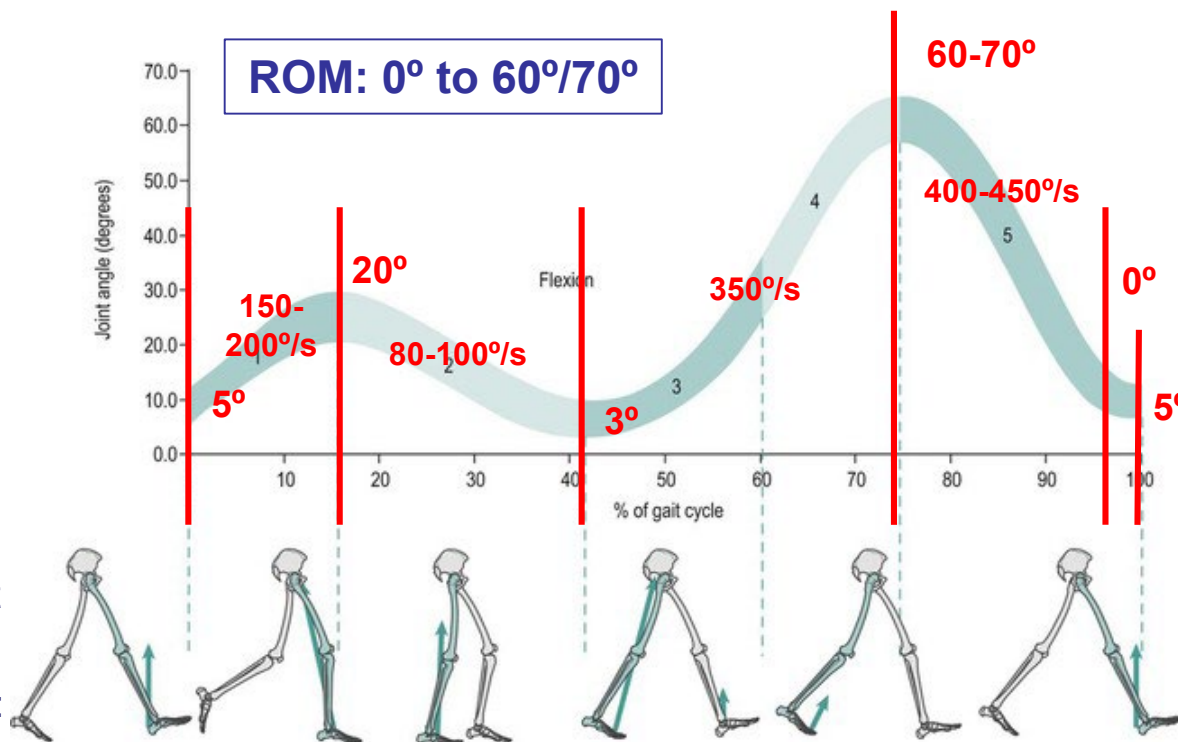


Ryc. 7 - Ruch stawu podtalarzowego w cyklu chodu. Obraz z <https://musculoskeletalkey.com>

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Układ kinematyczny kolana

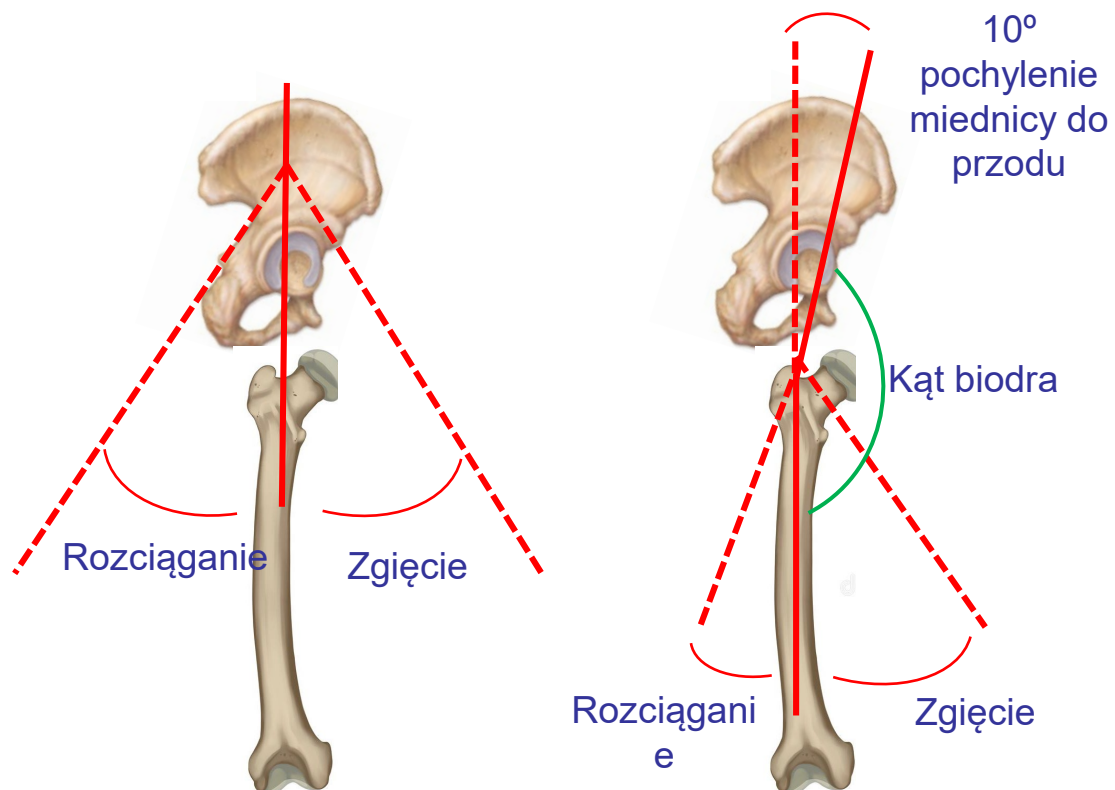
- Płaszczyzna strzałkowa: zgięcie i wyprost kolana.
- Początkowy kontakt: lekkie zgięcie.
- Pomiędzy reakcją na obciążenie a połową kroku: pierwszy szczyt zgięcia.
- Końcówka postawy: pierwszy szczyt wyprost.
- Początkowy zamach: szczyt drugiego zgięcia.
- W końcowej fazie wymachu: szczyt drugiego wyprost.



Ryc. 8. Ruch kolana w płaszczyźnie strzałkowej w cyklu chodu.
Image from Richards J. 2015

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Analiza bezwzględna i względna stawu biodrowego i miednicy



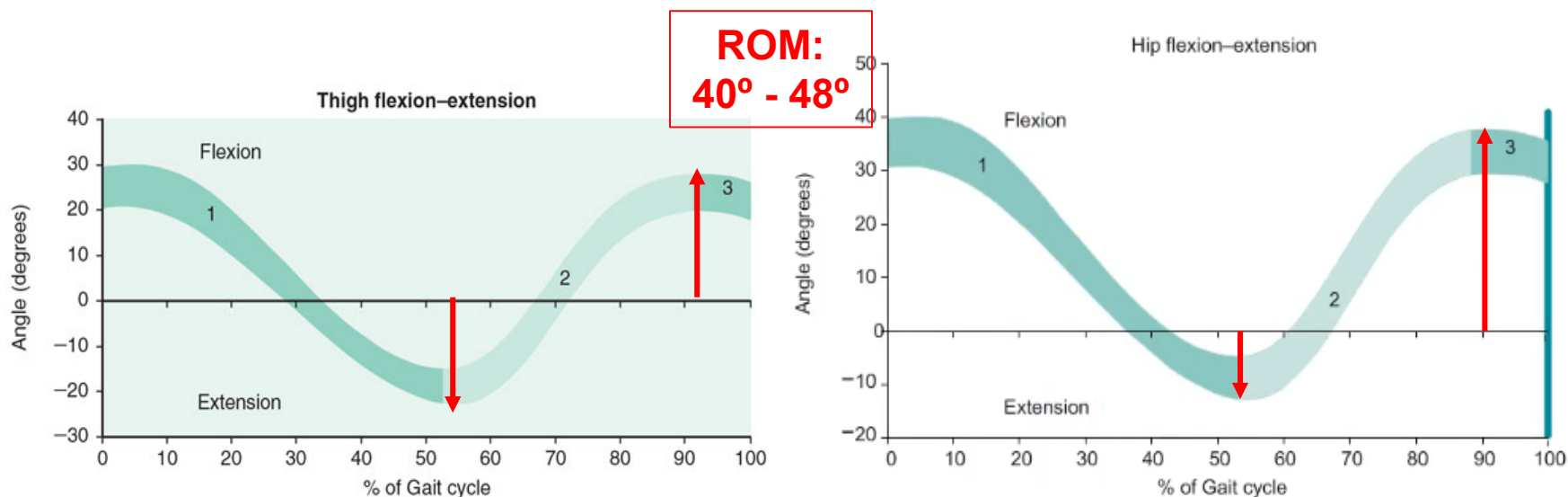
- Ruch względny a ruch bezwzględny.
- Systemy optycznej analizy kinematycznej pozwalają na rejestrację bezwzględnej pozycji uda i miednicy.
- Systemy oparte na elektrogoniometrach mierzą pozycje względne.

Rysunek 9 - Absolutny (po lewej) i względny (po prawej) ruch uda.

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka biodra i uda

- Płaszczyzna strzałkowa: zgięcie-wyprost.
- Wartości różnicowe z ruchu bioder.

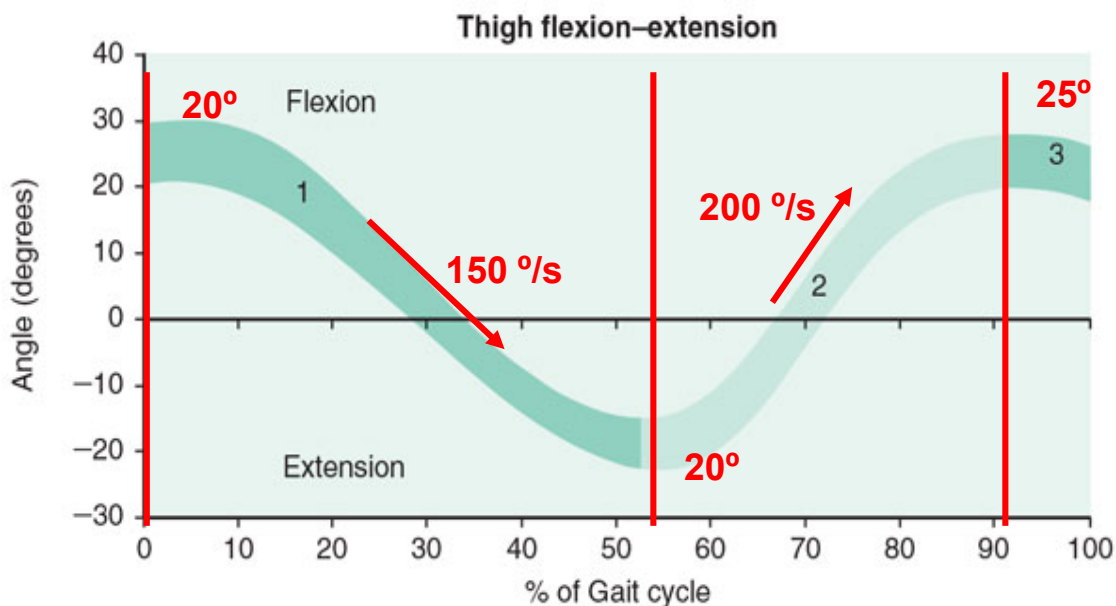


Ryc. 10. Ruch uda (po lewej) i biodra (po prawej) na płaszczyźnie strzałkowej w cyklu chodu. Image from Richards J. 2015

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka biodra i uda

- Płaszczyzna strzałkowa: zgięcie-wyprost.
- Wartości różnicowe z ruchu biodra i uda.
- Przed zamachem: maksymalne rozciągnięcie (10° biodro, 20° udo).
- Końcówka wymachu: maksymalne zgięcie (30° biodro, 25° udo).

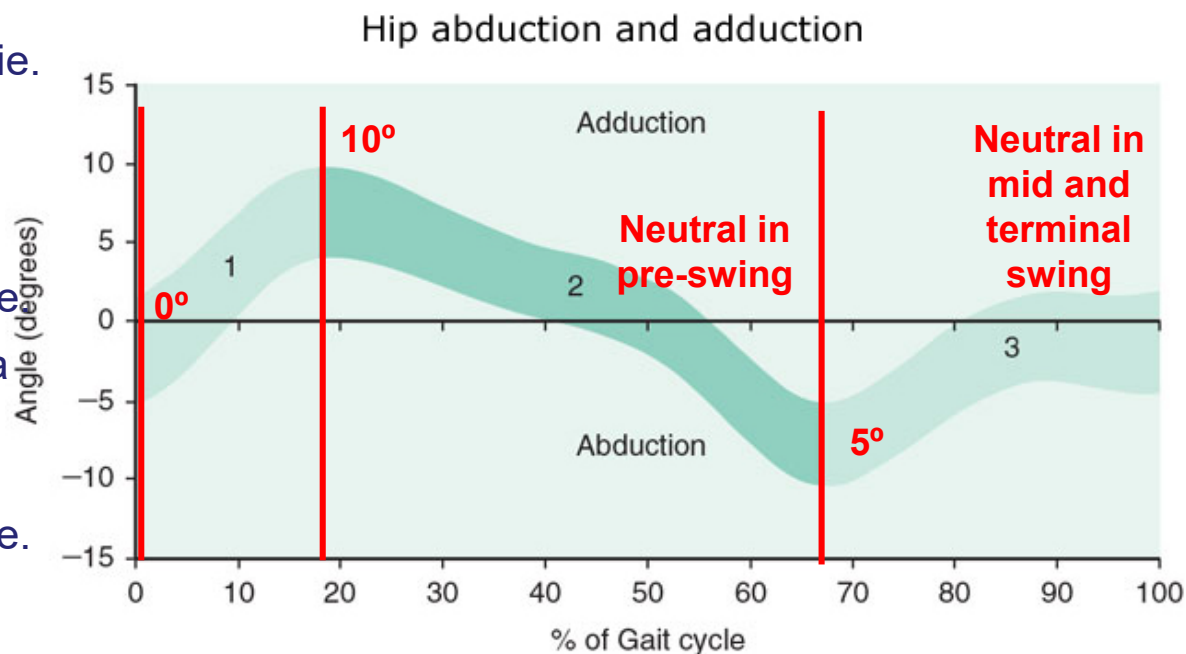


Ryc. 11. Ruch uda na płaszczyźnie strzałkowej w cyklu chodu.
Image from Richards J. 2015

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka biodra i uda

- Płaszczyzna czołowa: przywodzenie i odwodzenie.
- Kontakt początkowy: położenie neutralne.
- Reakcja na obciążenie: maksymalne przywodzenie
- Przed zamachem: pozycja neutralna.
- Początkowy zamach: maksymalne przywodzenie.
- Środek i koniec wymachu: pozycja neutralna.

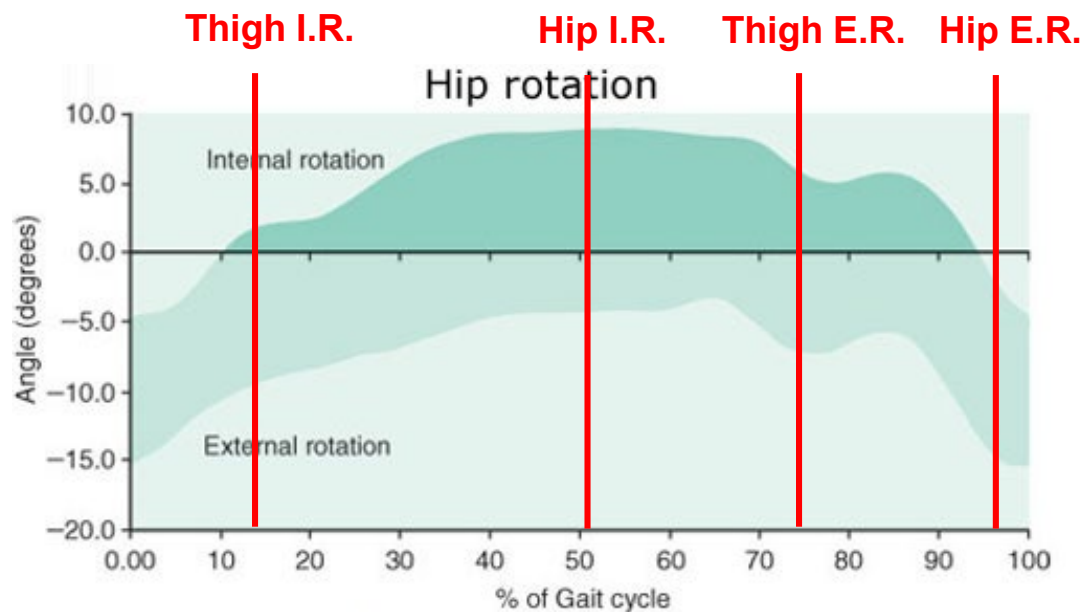


Ryc. 11. Ruch biodra w płaszczyźnie czołowej w cyklu chodu.
Image from Richards J. 2015

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka biodra i uda

- Płaszczyzna poprzeczna: rotacja wewnętrzna i zewnętrzna.
- Reakcja na obciążenie: maksymalna rotacja wewnętrzna uda.
- Początkowy ruch wahadłowy: maksymalna rotacja zewnętrzna uda.
- Całkowity ROM uda: 8°.
- Całkowity ROM z dodaniem ruchu miednicy: 15°.

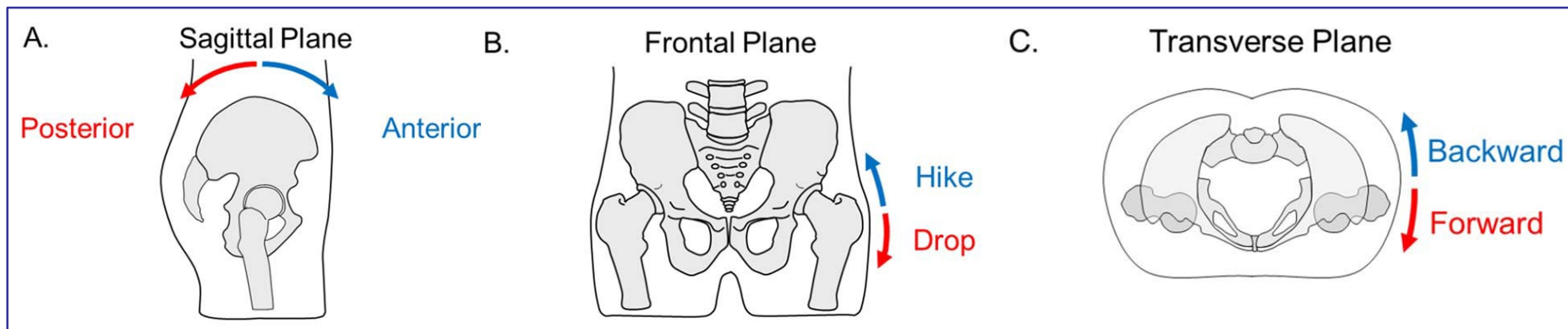


Ryc. 12. Ruch biodra w płaszczyźnie poprzecznej w cyklu chodu. Obraz za Richards J. 2015 r.

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka miednicy

- Miednica porusza się asynchronicznie we wszystkich 3 kierunkach podczas każdego kroku.
- Wszystkie ruchy są niewielkie, stanowiąc kontinuum zmian postawy.

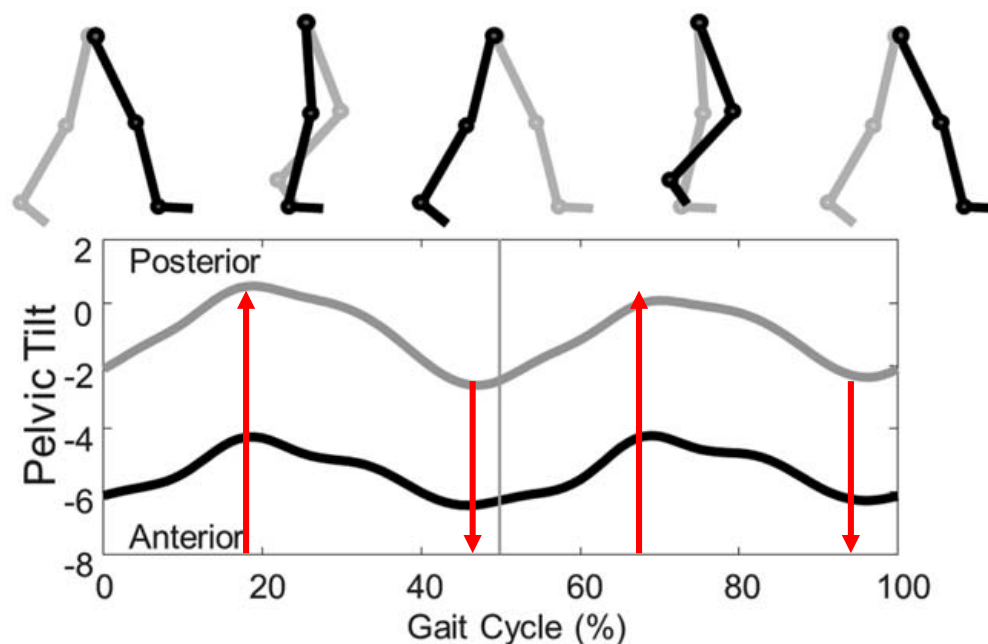


Ryc. 13. Ruch miednicy w trzech płaszczyznach przestrzeni. Rys. z Lewis C. et al. 2017

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka miednicy

- Płaszczyzna strzałkowa: pochylenie przednie i tylne.
- W chodzie dodaj 4° do anatomicznego pochylenia miednicy.
- Pochylenie tylne: podpora jednej kończyny w połowie stania i podczas pierwszego wymachu.
- Pochylenie przednie: końcowa postawa i końcowy wymach.
- ROM: 3° do 5° .

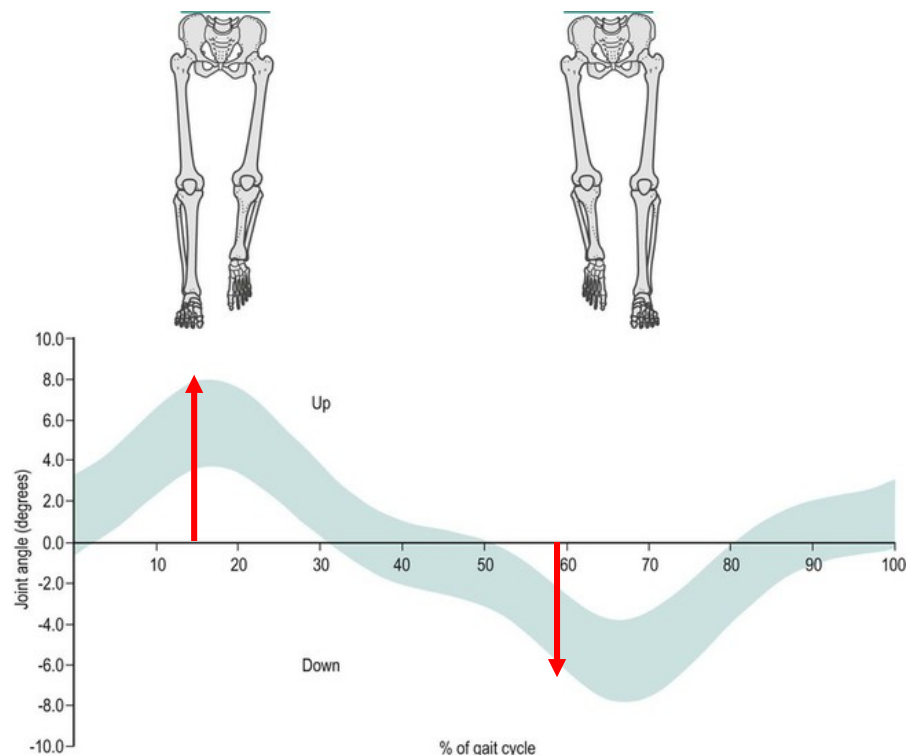


Ryc. 14 - Ruch miednicy w płaszczyźnie strzałkowej podczas cyklu chodu. Czarna linia odnosi się do wyników kobiet, a szara do mężczyzn. Obraz za Lewis C. et al. 2017.

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka miednicy

- Płaszczyzna czołowa: opadanie (w dół) i wznoszenie (w górę) miednicy.
- Przyjęcie ciężaru: ipsilateralna miednica w górę.
- Pre-swing: ipsilateralna miednica opada o 4°.
- ROM: 6° do 10°.

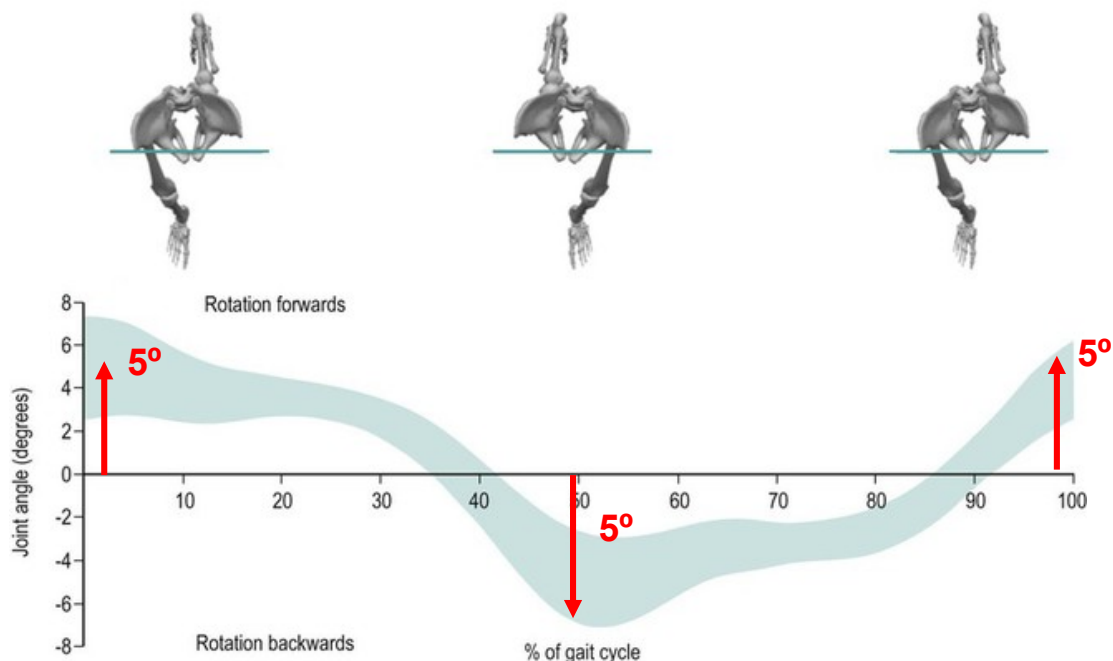


Ryc. 15. Ruch miednicy w płaszczyźnie czołowej w cyklu chodu. Image from Richards J. 2015

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Kinematyka miednicy

- Płaszczyzna poprzeczna: rotacja miednicy do przodu i do tyłu.
- Końcowa faza wymachu + początkowy kontakt następnego cyklu: maksymalna rotacja do przodu.
- końcowa postawa: maksymalna rotacja w tył.
- ROM: 10°.



Rycina 16 - Ruch miednicy w płaszczyźnie poprzecznej w cyklu chodu. Obraz za Richards J. 2015 r.

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Różnice wieku i płci w normie chodu

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

Whole body kinematic sex differences persist across non-dimensional gait speeds

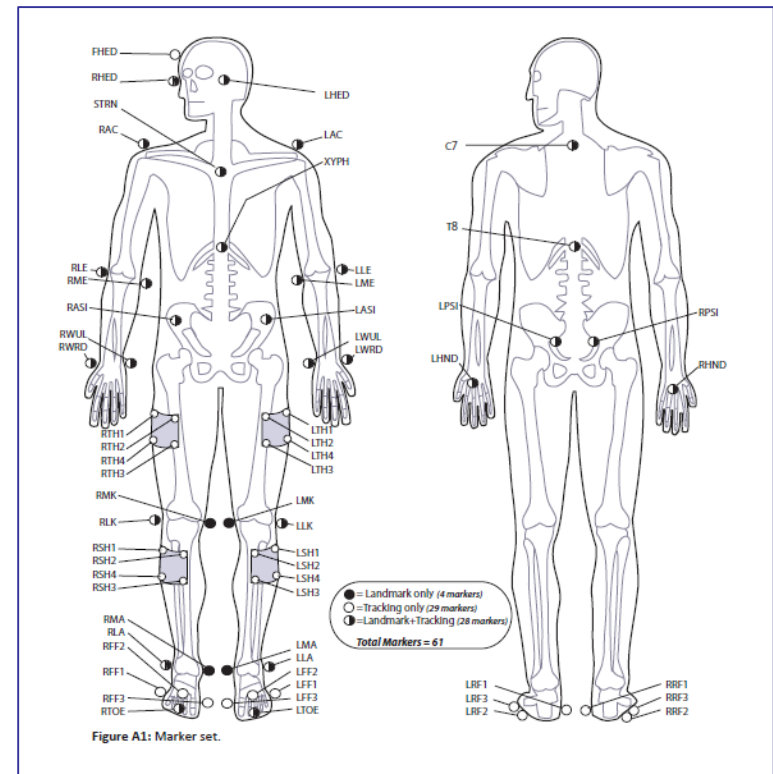
Dustin A. Bruening^{1*}, Andrew R. Baird², Kelsey J. Weaver¹, Austin T. Rasmussen¹

¹ Exercise Sciences Department, Brigham Young University, Provo, Utah, United States of America,
² Mechanical Engineering Department, Brigham Young University, Provo, Utah, United States of America

$$F = \frac{v}{\sqrt{gl}}$$

Gdzie F = prędkość niewymiarowa lub prędkość Froude'a, v = prędkość, g = grawitacja, a l = długość nogi.

Rysunek 17 - Zestaw rynkowy z badania Bruening D. et al. 2020



IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Różnice wieku i płci w normie chodu

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

Whole body kinematic sex differences persist across non-dimensional gait speeds

Dustin A. Bruening^{1*}, Andrew R. Baird², Kelsey J. Weaver¹, Austin T. Rasmussen¹

¹ Exercise Sciences Department, Brigham Young University, Provo, Utah, United States of America, ² Mechanical Engineering Department, Brigham Young University, Provo, Utah, United States of America

- Różnice między płciami w zakresie ROM stawu skokowego (zgięcie grzbietowo-podeszwowe) i miednicy (rotacja i skośność).

	ANOVA main effects <i>p</i> -values	
	Sex	Interaction
<i>Range of motion</i>		
Ankle (Sagittal)	<0.001*	0.008*
Midtarsal (Sagittal)	0.734	0.333
Pelvis (Frontal)	<0.001*	0.092
Pelvis (Transverse)	<0.001*	0.006*

Inni autorzy: kobiety chodzą z większym wyprostem kolan i mają większe szczytowe przywiedzenie i rotację wewnętrzną bioder niż mężczyźni.

		Walk		
Froude speed (ND)		0.32	0.48	0.64
Speed (m/s)	M	1.0 ± 0.02	1.5 ± 0.03	1.9 ± 0.04
	F	0.9 ± 0.02	1.4 ± 0.03	1.8 ± 0.04
Ankle-Sagittal (°)	M	21.1 ± 3.6	26.0 ± 3.8	31.0 ± 4.6
	F	25.0 ± 6.4	29.1 ± 4.9	32.8 ± 4.7
Midtarsal-Sagittal (°)	M	10.9 ± 2.7	12.9 ± 4.2	13.5 ± 3.7
	F	11.8 ± 2.3	12.3 ± 2.8	14.0 ± 4.1
Pelvis-Frontal (°)	M	6.0 ± 1.8	7.6 ± 2.3	9.4 ± 2.5
	F	9.3 ± 3.1	12.6 ± 3.4	14.8 ± 3.8
Pelvis-Transverse (°)	M	10.0 ± 3.2	11.4 ± 3.5	14.9 ± 4.5

Rysunek 18 - Wyniki kinematyki (po prawej) i analiza statystyczna (po lewej) z porównania kobiet i mężczyzn oraz w poprzek trzech niewymiarowych prędkości chodu. Wyniki z Bruening D. et al. 2020.

IV. KINEMATYCZNA OCENA NORMALNEGO CHODU

Różnice wieku i płci w normie chodu

GAIT PARAMETERS OF HEALTHY, ELDERLY PEOPLE

Róbert Paróczai¹, Zoltán Bejek², Árpád Illyés²,
László Kocsis¹, Rita M. Kiss³

- U osób starszych obserwuje się ograniczenie ruchu w stawie skokowym i kolanowym, ale zwiększenie rotacji i skośności miednicy.

Ryc. 19. Kinematyka uczestników w różnym wieku (starszych i młodszych) podczas cyklu chodu. Wyniki za Paróczai R. et al. 2006.

Parameter		Unit	Elderly		Young	
			Female	Male	Female	Male
<i>Hip flexion</i> Range	Dominant side	degree	52.34±3.56	59.20±3.5	61.64±4.56	64.02±3.56
	Nondominant side	degree	50.12±4.78	54.30±3.3	59.2±3.45	62.76±3.56
Maximum	Dominant side	degree	64.23±6.78	69.30±9.1	66.76±4.56	68.62±5.63
	Nondominant side	degree	60.12±4.57	63.67±8.5	64.32±3.12	67.54±5.23
Minimum	Dominant side	degree	11.89±3.78	9.91± 5.78	5.12±1.34	4.60±1.44
	Nondominant side	degree	10.00±5.08	9.63±3.89	5.32±2.1	4.79±1.45
<i>Pelvic rotation</i>	Range	degree	8.29±2.96	7.42±1.69	4.46±2.34	6.57±2.01
	Maximum	degree	2.91±2.6	6.37±1.30	2.12±1.23	5.34±1.34
	Minimum	degree	-5.38±0.35	-1.26±1.15	-2.34±1.23	-1.23±2.23
<i>Pelvic obliquity</i>	Range	degree	2.65±0.38	3.12±1.87	1.42±0.33	1.75±0.44
	Maximum	degree	5.64±1.58	3.97±1.55	4.56±2.34	3.12±1.23
	Minimum	degree	2.99±1.19	0.85±0.85	3.14±1.03	1.37±0.76
<i>Knee flexion</i> Range	Dominant side	degree	43.08±2.57	41.15±2.9	54.23±3.67	56.86±2.89
	Nondominant side	degree	39.67±1.79	40.45±3.1	50.79±2.99	52.97±3.12
First peak	Dominant side	degree	16.21±2.4	19.77±2.94	21.56±2.67	23.34±2.45
	Nondominant side	degree	27.45±1.08	17.83±2.36	19.89±1.99	22.39±3.47
Second peak	Dominant side	degree	56.89±0.31	50.67±2.58	59.99±3.12	61.99±3.44
	Nondominant side	degree	48.5 ±0.35	49.44±3.78	56.78±3.21	59.34±3.22
Minimum	Dominant side	degree	17.22±2.1	10.08±2.08	5.89±3.12	5.13±0.23
	Nondominant side	degree	15.41±2.22	9.80±2.88	5.99±3.33	5.74±2.12

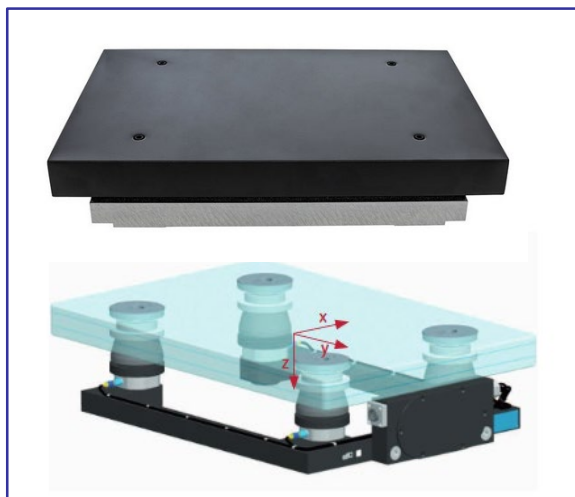
D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

V. Kinetyczna ocena normalnego chodu

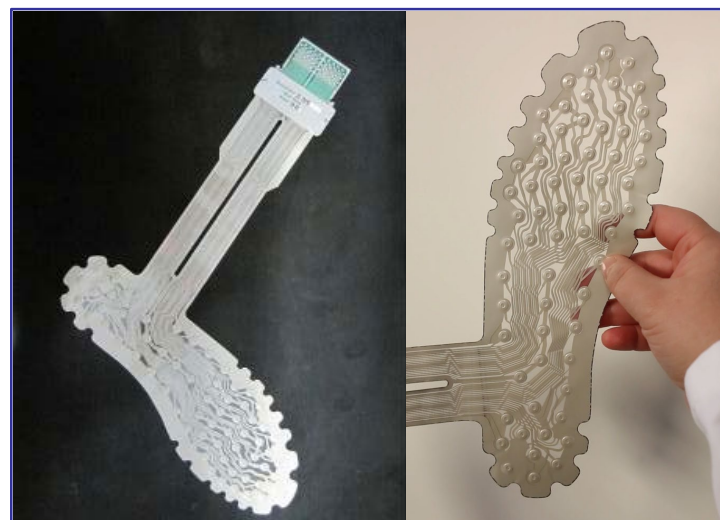
A decorative blue brushstroke underline consisting of two parallel, slightly wavy lines that tapers at both ends.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

- Przyrząd do pomiaru parametrów kinetycznych



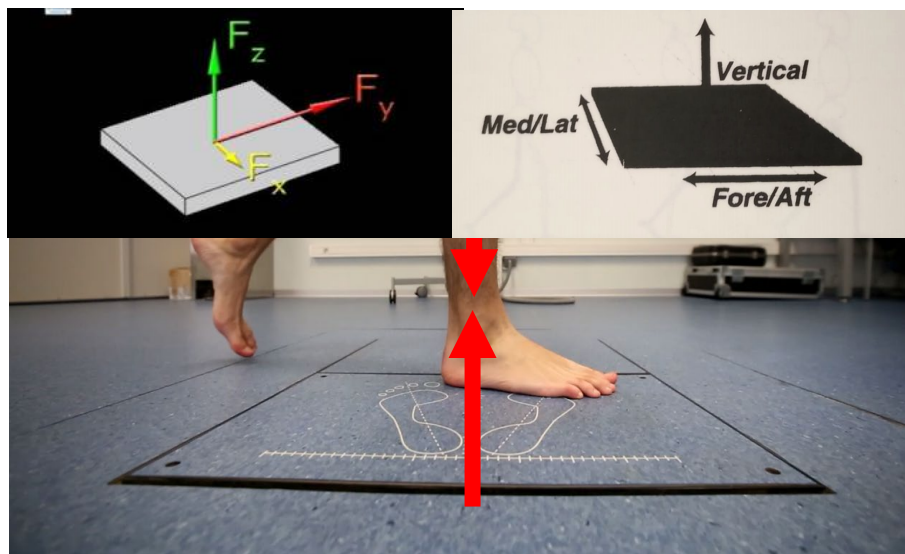
Rysunek 1 - Platformy siłowe z tensometrem (góra) i czujnikami piezoelektrycznymi (dół) do pomiaru sił reakcji podłoża.



Ryc. 2 - Wkładka z systemem Biofoot/IBV do pomiaru ciśnienia podszwowego.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

Siła reakcji podłoża



Rysunek 3 - Siła reakcji podłoża (GRF) wytwarzana podczas uderzenia ciała o podłoże w fazie postawy w cyklu chodu.

Składowa pionowa siły GRF

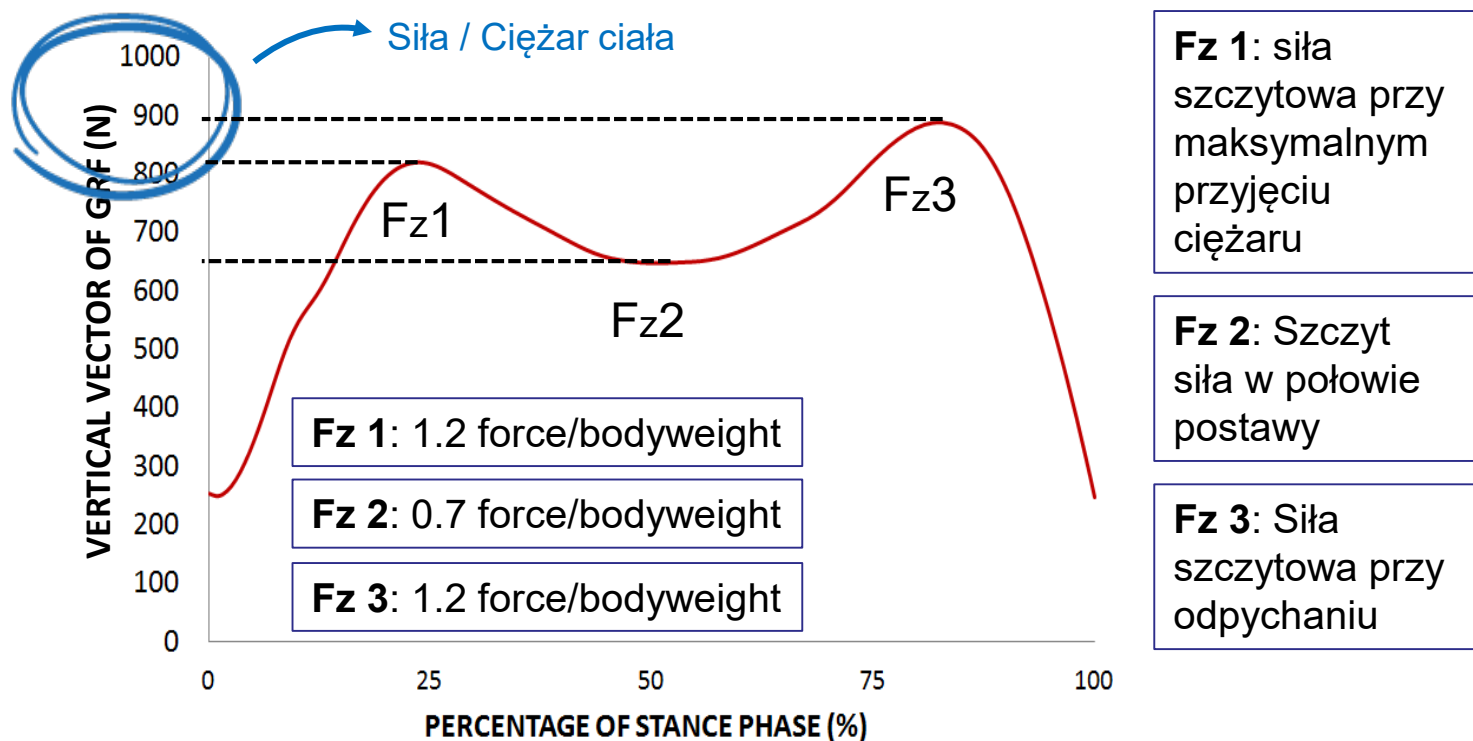
Przednio-tylna część składowa GRF

Składowa przyśrodkowo-boczna GRF

Środek nacisku podczas chodzenia

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

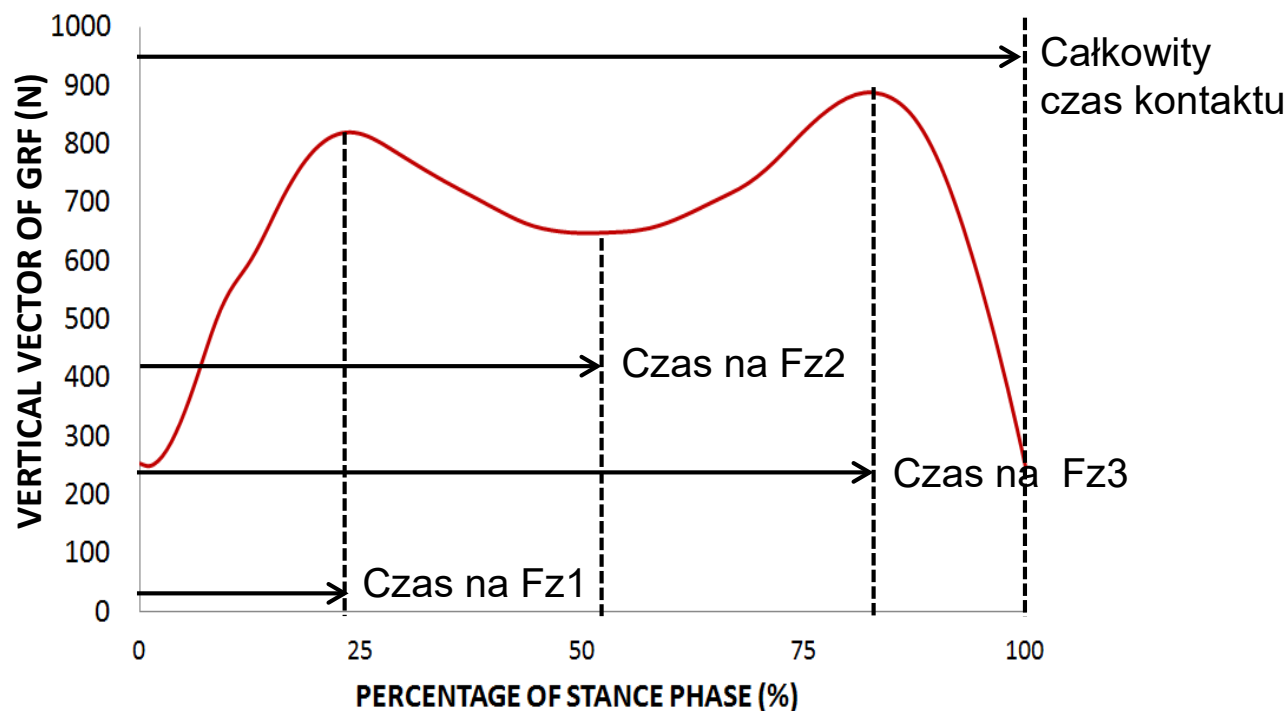
Składowa pionowa siły GRF



Rysunek 4 - Siła w kierunku pionowym podczas normalnego chodu i wyniki uzyskane na podstawie wielkości siły.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

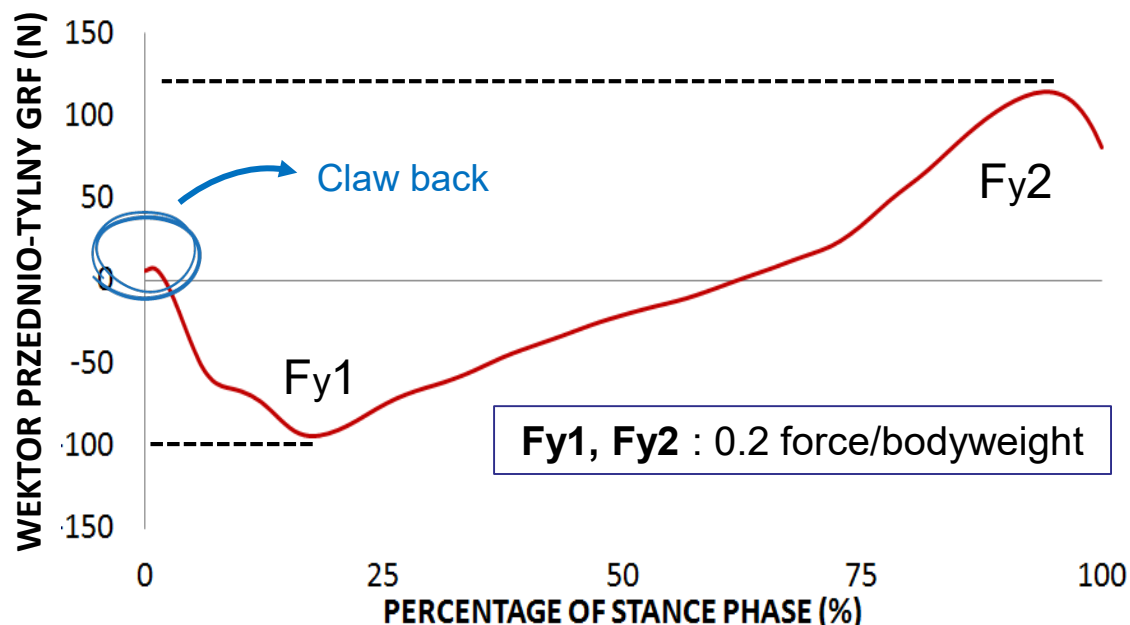
Składowa pionowa siły GRF



Rysunek 5 - Siła w kierunku pionowym podczas normalnego chodzenia i wyniki uzyskane w czasie.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

Przednio-tylna składowa siły GRF



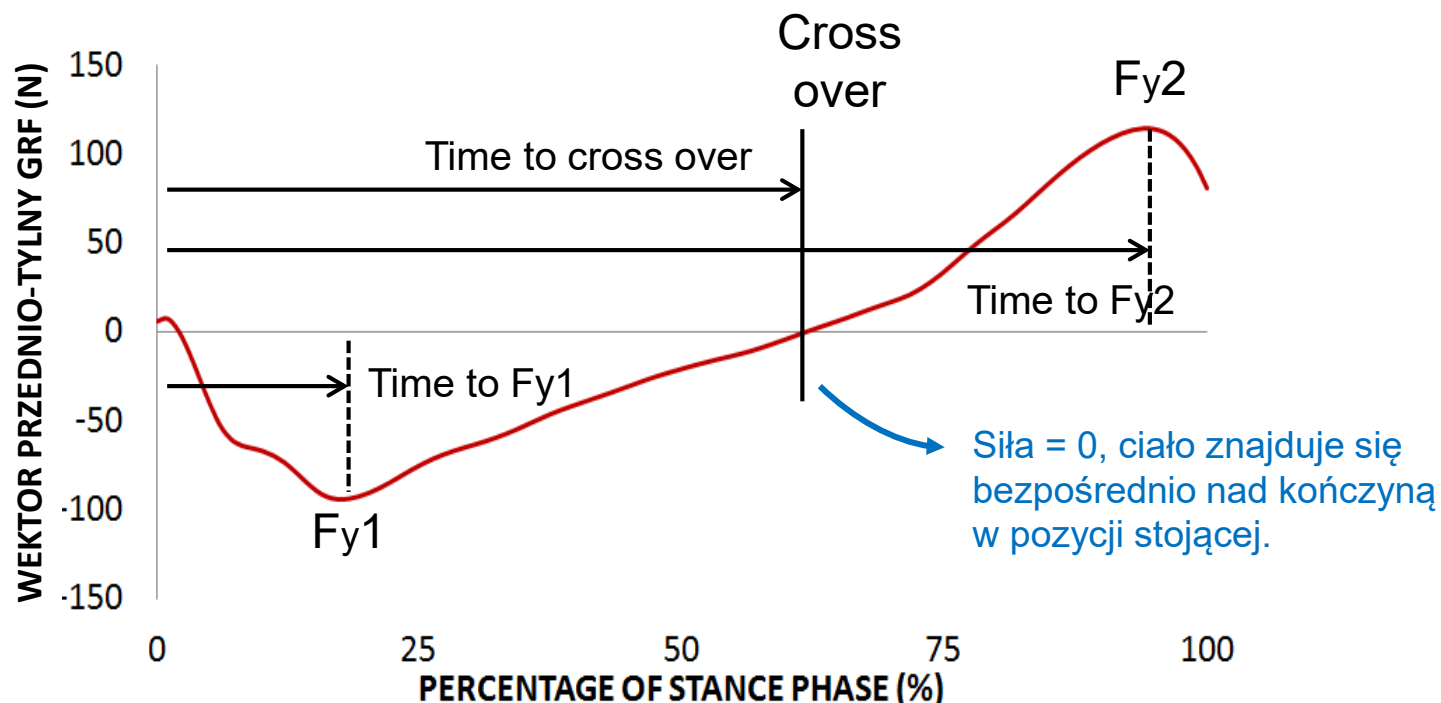
Fy 1:
Maksymalna siła tylna. Odpowiada złamaniu.

Fy 2:
Maksymalna siła przednia. Odpowiada oderwaniu pięty od podłoża.

Ryc. 6 - Siła w kierunku przednio-tylnym podczas normalnego chodu i wyniki uzyskane na podstawie wielkości siły.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

Przednio-tylna składowa siły GRF

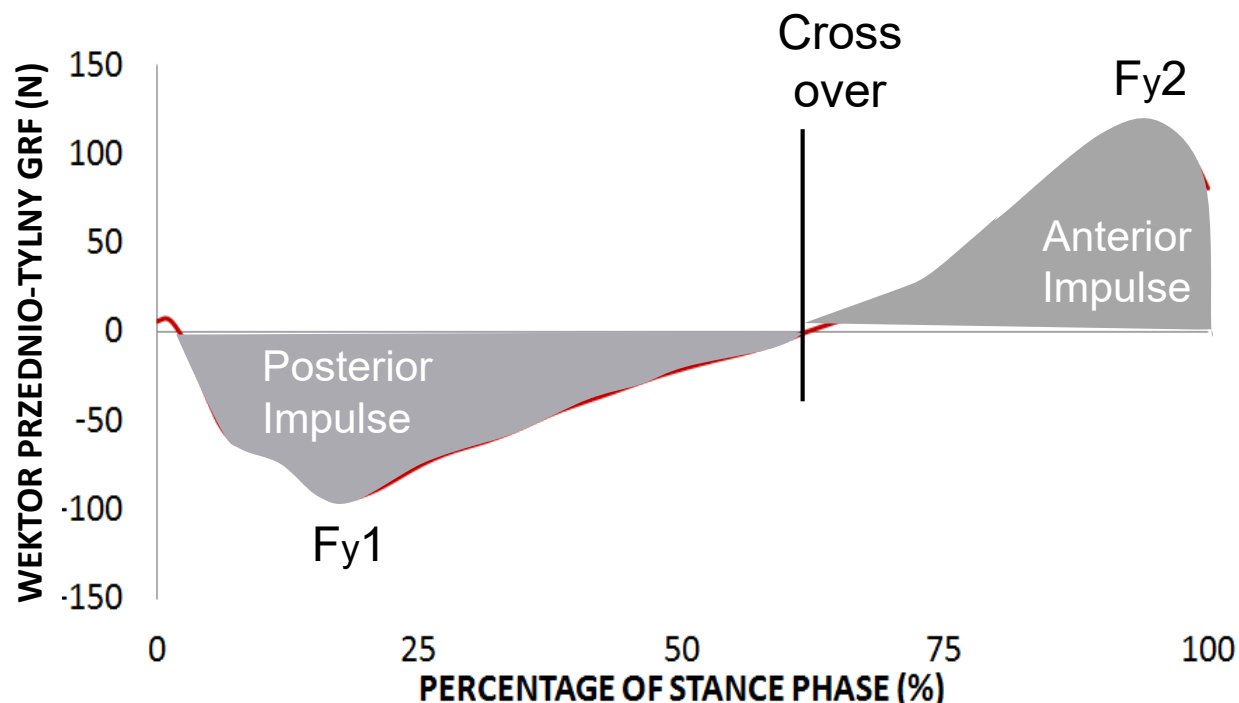


Ryc. 7 - Siła w kierunku przednio-tylnym podczas normalnego chodu i wyniki uzyskane z czasu działania siły.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

Przednio-tylna składowa siły GRF

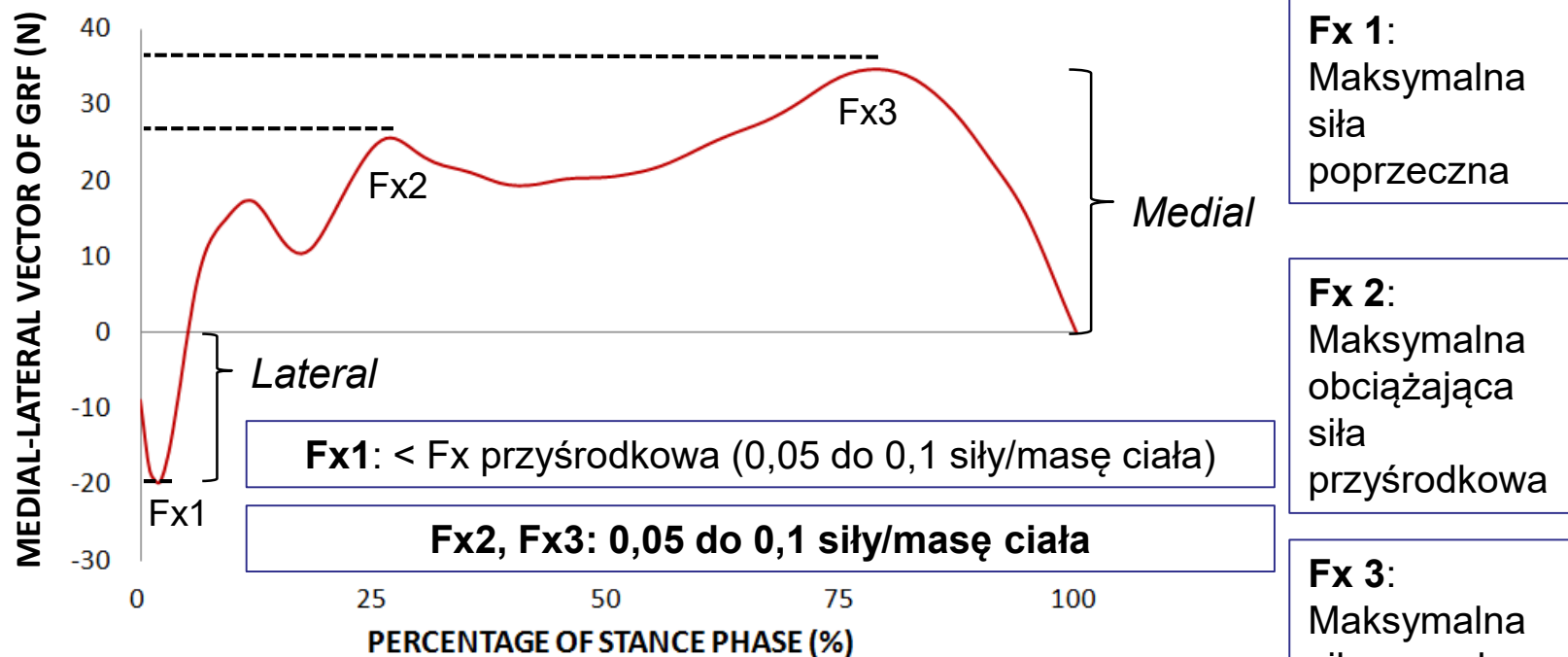
Impuls siły lub po prostu impuls (I) jest wielkością wektorową, która odnosi się do czasu, w którym trwa jej działanie.



Ryc. 8 - Siła w kierunku przednio-tylnym podczas normalnego chodzenia i wyniki uzyskane na podstawie powierzchni krzywej.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

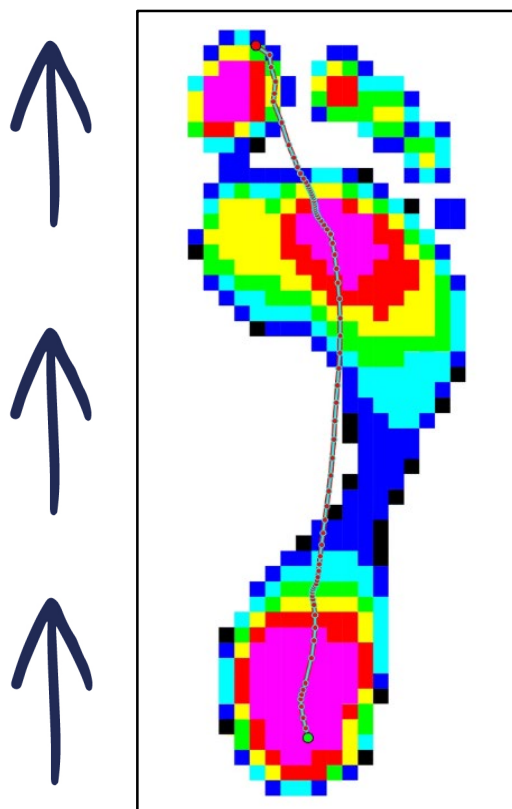
Składowa przyśrodkowo-boczna siły GRF



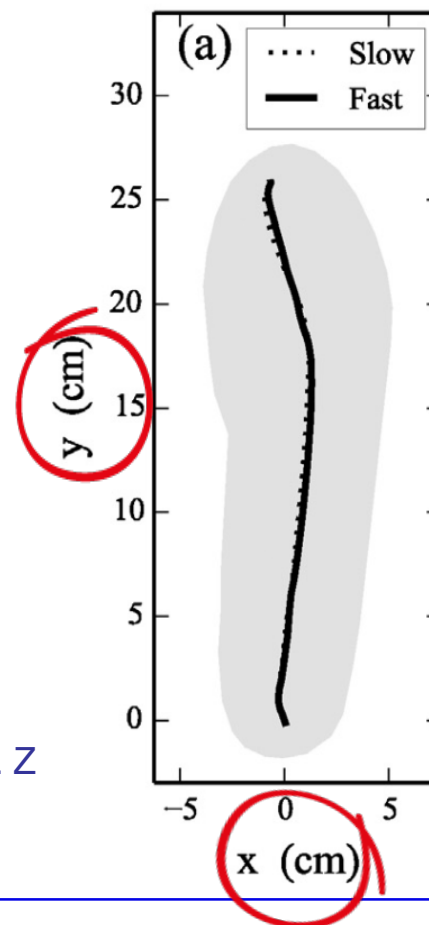
Ryc. 9 - Siły w kierunku przyśrodkowo-bocznym podczas normalnego chodu i wyniki uzyskane na podstawie wielkości siły.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

Przemieszczenie środka nacisku



Rysunek 10 -
Typowy rozkład
środka ciśnienia. Z
Buldt A.K. et al.
2018.



Ryc. 11. Ruch środka nacisku podczas chodu przy prędkości wolnej (linia przerywana) i szybkiej (linia ciągła). Na podstawie Todd C. Pataky et al. 2014.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

Przemieszczenie środka nacisku

Jakie wyniki możemy przeanalizować w związku z przesunięciem się środka ciężkości?

Wskaźnik wychylenia środka nacisku

Odchylenie COP od skonstruowanej linii łączącej pierwszy i ostatni punkt krzywej COP, mierzone na dystalnej trzeciej części stopy i znormalizowane do szerokości stopy.

Prędkość środka nacisku

Wynikowe przemieszczenie COP podzielone przez czas, jaki upłynął między pomiarami.

Części z fazy postawy

Części stopy (tylna, środkowa, przednia część stopy)
W osi X lub Y.

V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

Przemieszczenie środka nacisku

Wskaźnik wychylenia środka ciśnienia

$$CPEI = \frac{\text{Center of pressure excursion}}{\text{Foot Width}} \times 100 \%$$

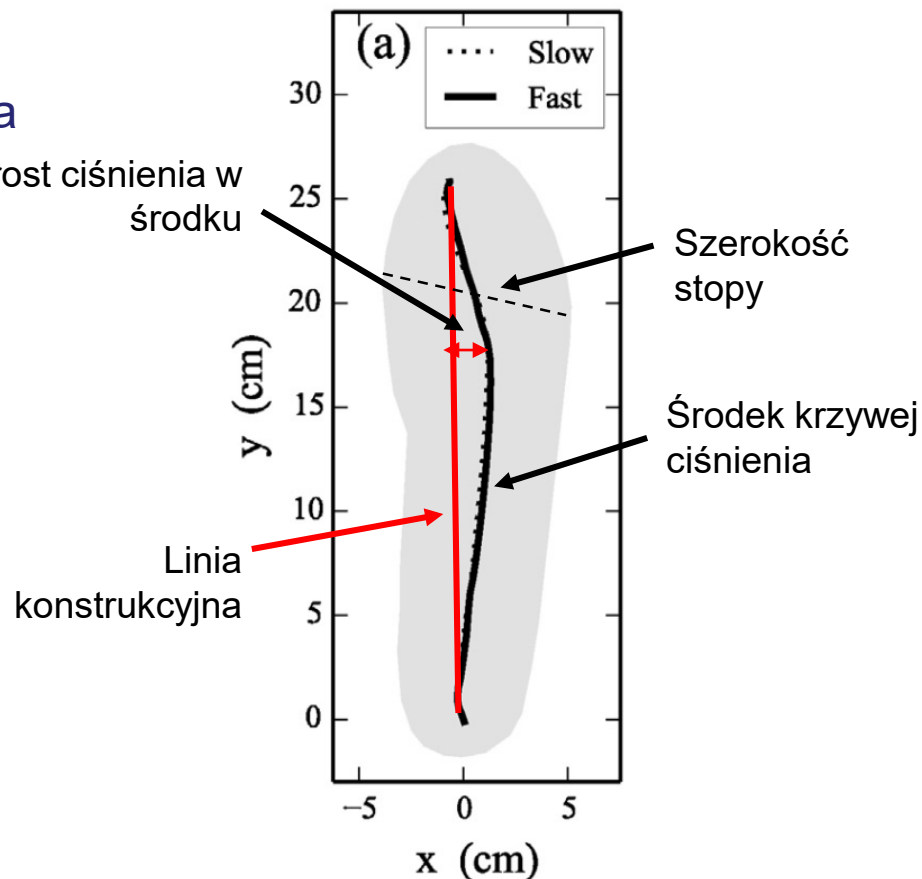
Wartości uzyskane od 92 zdrowych osób (w wieku od 18 do 45 lat) z różną postawą stóp, chodzących z komfortową prędkością:

CPEI w normie: 20,4 (6,5)

CPEI w stopach płaskich: 18,4 (4,5)

CPEI w stopach: 20,2 (5,8)

Wzrost ciśnienia w środku



V. OCENA KINETYCZNA NORMALNEGO CHODU

Przemieszczenie środka nacisku

Środek ciśnienia prędkość

Bo Li et al.	Prędkość AP (m/s)	Prędkość ML (m/s)	Buldt et al.	Prędkość AP (m/s)	Fuchioka et al.	Prędkość AP (m/s)	Wartość średnia w m/s
Initial contact	0.426 (0.157)	0.106 (0.057)	Loading response	0.405 (0.084)			
forefoot contact	0.723 (0.405)	0.090 (0.058)	Midstance	0.435 (0.061)	Rear foot	26.9 ± 8.8	0.26
foot flat phase	0.292 (0.087)	0.028 (0.010)	Terminal stance	0.177 (0.069)	Mid foot	83.0 ± 33.1	0.83
Forefoot push-off	0.277 (0.050)	0.117 (0.029)	Pre-swing	0.453 (0.098)	Forefoot	20.9 ± 5.3	0.20

Ryc. 12. Prędkość środka nacisku (m/s) wartość średnia (SD) od osób zdrowych z prawidłową postawą stopy z badań Bo Li i wsp. 2020, Buldt i wsp. 2018 oraz Fuchioka i wsp. 2015 w osi przednio-tylnej i przyśrodkowo-bocznej.

D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

VI. Ocena nacisku na podłoże podczas normalnego chodu

A decorative blue brushstroke underline consisting of two parallel, slightly wavy lines that taper at both ends.

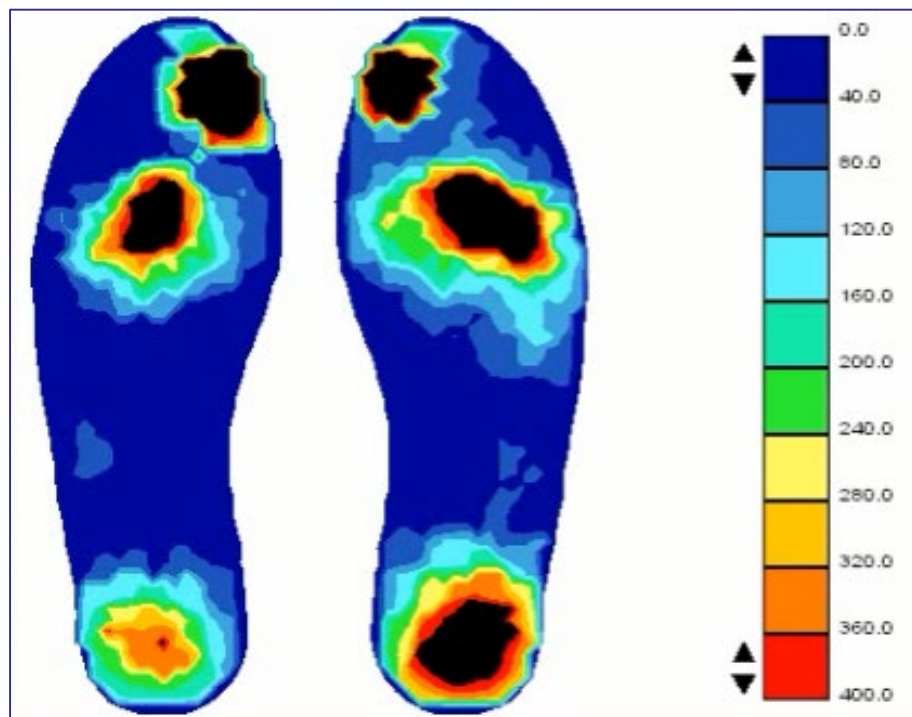
VI. NACISK NA STOPE PODCZAS NORMALNEGO CHODU

Nacisk na podłoże

- Jednostka informująca o ciśnieniu: kPa
- 10 kPa = 10 kN/m²

U osób zdrowych typowe szczytowe wartości ciśnienia pod stopą wynoszą 80-100 kPa w pozycji stojącej i 200-250 kPa podczas chodzenia.

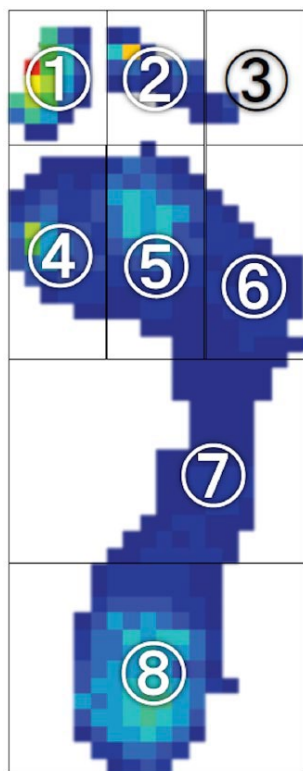
Obszar wokół głów drugiej i trzeciej kości śródstopia doświadcza najwyższego maksymalnego ciśnienia w stopie podczas chodzenia u zdrowych osób dorosłych.



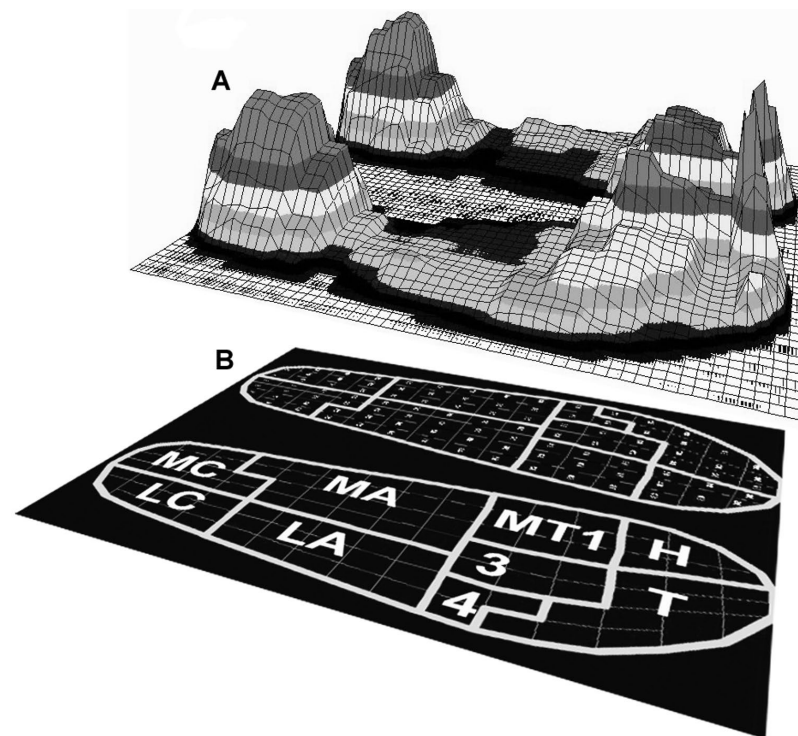
Ryc. 13 - Mapa w skali barwnej z oceny nacisku na stopę przy użyciu urządzeń Biofoot/IBV.

VI. NACISK NA STOPE PODCZAS NORMALNEGO CHODU

Nacisk na podłoże



Rysunek 14 - Przykład analizy według regionów stopy. (1) wielki palec; (2) drugi i trzeci palec; (3) czwarty i piąty palec; (4) przyśrodkowe przodostopie; (5) środkowe przodostopie; (6) boczne przodostopie; (7) śródstopie; oraz (8) tylna stopa. Obraz z Tsujinaka S. et al. 2019.

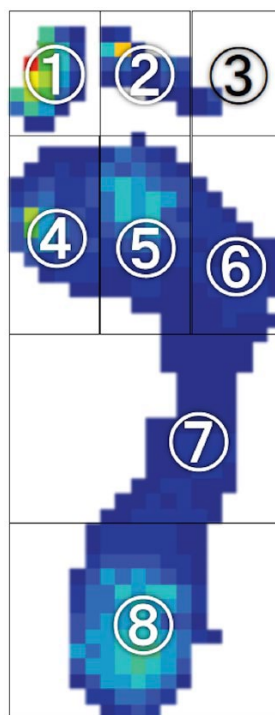


Rysunek 15 - Przykład analizy według regionów stopy. MC = trzeszczka przyśrodkowa, LC = trzeszczka boczna, MA = łuk przyśrodkowy, LA = łuk boczny, MT1 = pierwsze śródstopie, 3 = drugie i trzecie śródstopie, 4 = czwarte i piąte śródstopie, H = haluksy, T = palce. Obraz z Hessert M. et al. 2005.

VI. NACISK NA STOPE PODCZAS NORMALNEGO CHODU

Nacisk na podłoże

- Sprzęt pomiarowy: wkładki z czujnikami nacisku.
- Uczestnicy przeszli dystans od 4 do 5,5 m podczas 5 sekundowej rejestracji (50 Hz).
- Normalna prędkość chodu.



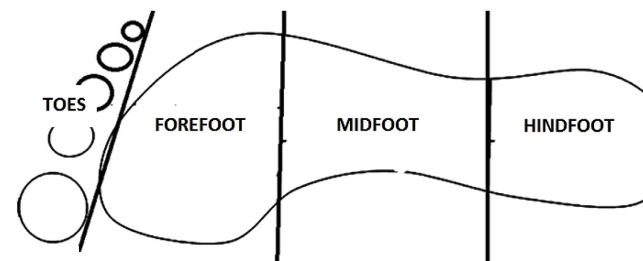
Peak pressure (kPa) (n = 24. Age mean 52.4 ± 11.8)	
1. Great toe	311.7 (236.3)
2. 2° and 3° toes	186.9 (91.0)
3. 4° and 5° toes	141.6 (94.4)
4. Medial forefoot	304.5 (227.0)
5. Central forefoot	590.9 (357.1)
6. Lateral forefoot	215.0 (161.6)
7. Midfoot	128.5 (69.1)
8. Hindfoot	296.1 (155.1)

Ryc. 16. Szczytowe wartości ciśnienia Plantar Pressure od normalnie chodzących uczestników badania Tsujinaka et al. 2019.

VI. NACISK NA STOPEĘ PODCZAS NORMALNEGO CHODU

Nacisk na podłoże

- Measurement equipment: instrumented platform.
- Data were collected barefoot in mid-gait at self-selected gait speed.



Gender comparison of pedobarographic data (MaxF, PP, CA) of adolescents according to age.

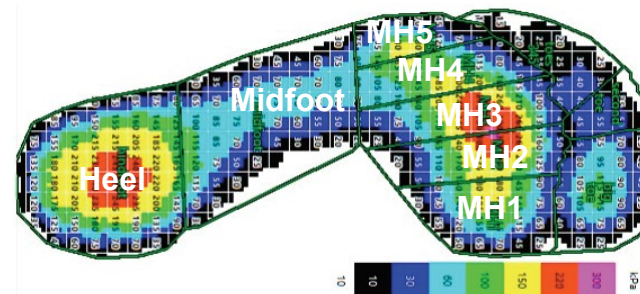
Age (Year)	11		12		13		14		
	F (n = 64)	M (n = 41)	F (n = 62)	M (n = 99)	F (n = 25)	M (n = 78)	F (n = 60)	M (n = 95)	
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
Peak pressure (kPal)	Total	316.68 ± 94.66*	282.87 ± 66.36	333.70 ± 92.05	311.51 ± 67.96	305.80 ± 56.60	318.1 ± 72.2	374.08 ± 113.93*	338.61 ± 85.85
	Hindfoot	262.38 ± 93.90	241.34 ± 65.90	261.77 ± 91.37	260.90 ± 68.87	229.90 ± 42.84	261.05 ± 73.12*	271.71 ± 61.12	265.61 ± 78.40
	Midfoot	106.79 ± 27.01	100.37 ± 26.53	100.27 ± 29.54	103.35 ± 31.27	106.90 ± 36.73	113.84 ± 31.23	118 ± 32.76	108.52 ± 36.49
	Forefoot	253.39 ± 77.91*	221.52 ± 60.53	251.08 ± 73.36	244.04 ± 64.23	246.60 ± 55.63	255.12 ± 67.30	305.66 ± 82.14	281.35 ± 79.59
	Toes	201.05 ± 86.77	198.72 ± 69.96	253.79 ± 104.93*	216.00 ± 81.12	264.40 ± 65.02*	227.21 ± 83.4	299.75 ± 140.60*	238.75 ± 103.32

Figure 17 – Peak plantar pressure (SD) from Demirbükten I. et al. 2019.

VI. NACISK NA STOPE PODCZAS NORMALNEGO CHODU

Nacisk na podłoże

- Sprzęt pomiarowy: platforma z oprzyrządowaniem.
- Ciśnienie podskórne rejestrowano podczas chodzenia boszo z naturalnie dobraną prędkością chodu.



		Mean pressure									
		Toe 1	Toe 2	Toes 345	MH1	MH2	MH3	MH4	MH5	Midfoot	Heel
Males 60–69	Mean	109.45	62.56	44.70	111.48	145.94	142.21	118.31	90.45	49.56	160.06
	SD	46.71	23.38	22.81	33.19	28.62	35.13	31.22	35.61	20.99	23.84
Males 70–79	Mean	68.71	39.71	29.74	103.26	133.04	130.65	127.42	116.83	70.39	157.93
	SD	28.47	13.69	15.45	33.71	34.78	19.31	36.44	35.84	13.27	18.49
Females 60–69	Mean	81.38	53.55	42.27	101.88	160.71	156.10	122.08	99.23	66.03	147.71
	SD	23.44	24.66	20.75	34.81	43.88	30.32	34.30	46.74	26.03	22.87
Females 70–79	Mean	71.01	41.39	33.37	125.62	136.96	137.90	106.79	90.95	54.03	130.37
	SD	36.44	19.25	15.40	50.52	39.22	35.93	28.90	47.09	22.81	17.64

Ryc. 18. Średnie ciśnienie plantarne (SD) z Gimunova M. i wsp. 2018. n = 61 zdrowych osób starszych (21 mężczyzn, 40 kobiet).

VI. NACISK NA STOPE DURING NORMAL WALKING

Nacisk na podłoże

- Wyposażenie pomiarowe: platforma z oprzyrządowaniem.
- Chodzenie z komfortową prędkością.
- Grupy: dzieci, młodzież, dorośli i starsi dorośli.

	Aged 3-9		Aged 10-19		Aged 20-59		Aged 60+	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Maximum mean pressure (kPa)								
Rearfoot	67.0 (34.3)	76.1 (31.0)	99.2 (25.5)	102.1 (28.2)	105.6 (24.2)	99.5 (26.8)*	106.3 (37.4)	99.1 (32.1)
Midfoot	11.4 (8.8)	13.1 (12.0)	20.7 (14.6)	16.2 (12.6)*	26.2 (17.3)	22.0 (15.6)*	23.3 (22.0)	24.8 (17.9)
Forefoot	79.1 (35.3)	84.0 (30.0)	147.7 (51.0)	147.9 (40.5)	181.7 (55.8)	180.3 (45.7)	207.4 (73.9)	201.5 (74.0)
Whole foot	94.5 (4.9)	99.3 (31.9)	154.8 (49.1)	154.1 (38.1)	182.8 (55.2)	181.5 (44.7)	210.1 (73.0)	203.8 (72.5)
Peak pressure (kPa)								
Rearfoot	249.3 (129.3)	269.6 (120.1)	365.4 (129.2)	341.0 (92.3)	375.0 (122.6)	345.7 (113.5)*	356.7 (148.3)	319.9 (113.7)*
Midfoot	49.3 (26.9)	49.1 (34.0)	71.3 (41.1)	57.1 (35.5)*	80.6 (44.3)	74.4 (46.7)	75.9 (62.3)	84.7 (52.7)
Forefoot	230.0 (80.0)	245.1 (87.0)	433.4 (161.4)	431.0 (116.2)	523.9 (164.8)	527.7 (148.3)	576.1 (200.0)	570.3 (190.1)
Whole foot	290.9 (124.0)	310.8(120.3)	475.8 (163.9)	456.1 (111.9)	540.7 (168.0)	541.7 (147.0)	591.8 (203.5)	580.2 (186.4)

Ryc. 19. Maksymalne średnie ciśnienie i szczytowe ciśnienie plantarne (SD) z McKay M. i wsp. 2017. n = 1000 zdrowych osób w wieku 3-101 lat. (21 mężczyzn, 40 kobiet).

D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

VII. Elektromiograficzna ocena prawidłowego chodu

A decorative blue brushstroke underline consisting of two parallel, slightly wavy lines.

VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIDŁOWEGO CHODU

Przyrząd do pomiaru aktywności mięśniowej



Rycina 1 - System elektromiografii powierzchniowej i oprzyrządowanie kończyny dolnej. W celu ustalenia protokołu instrumentacji należy posłużyć się przewodnikiem SENIAM, który standaryzuje lokalizację elektrod w różnych segmentach ciała. (www.seniam.org).

VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIDŁOWEGO CHODU

Wyniki elektromiograficzne

AMPLITUDA

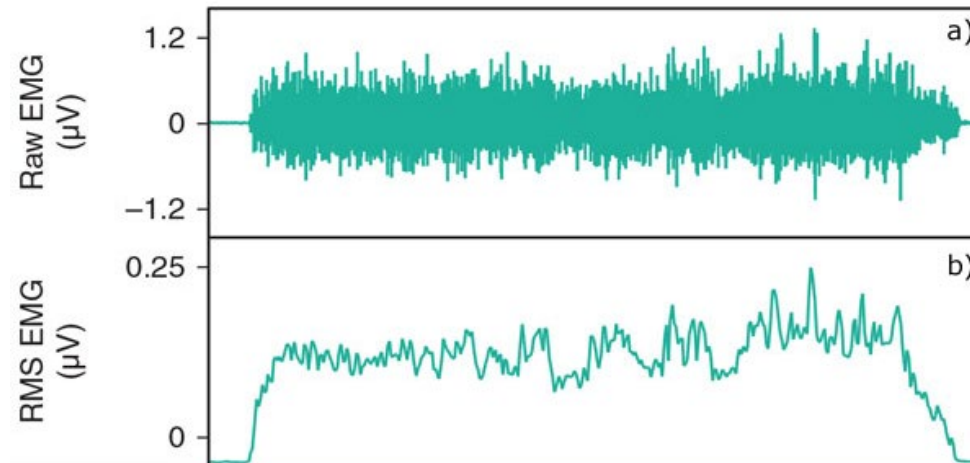
- Średnia kwadratowa
- Rektyfikacja
- Obwiednia

CZAS AKTYWACJI

VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIDŁOWEGO CHODU

Amplituda: Root Mean Square (RMS)

- 1) Każdy punkt danych w sygnale jest podnoszony do kwadratu
- 2) Określana jest wartość średnia dla określonej długości okna.
- 3) Następnie obliczany jest pierwiastek kwadratowy z tej wartości

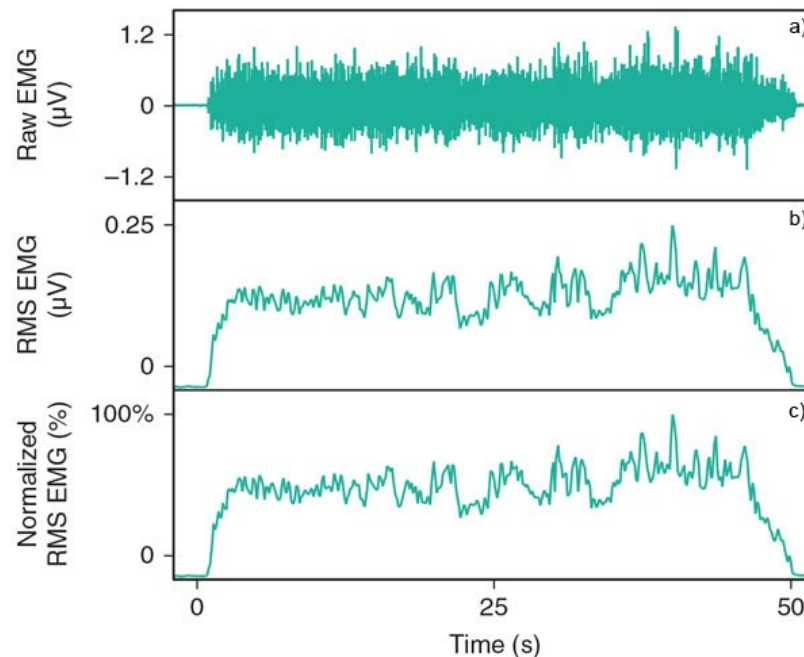


Rysunek 2 - a) Surowy sygnał EMG. b) Średnia kwadratowa (RMS) obliczona z ruchomym oknem o długości 0,25 ms. Image from Richards J. 2018.

VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIDŁOWEGO CHODU

Amplituda i normalizacja

- Metoda 1: Maksymalny dobrowolny skurcz.
- Metoda 2: Maksymalny obserwowany sygnał EMG podczas aktywności.



Rysunek 3 - a) Surowy sygnał EMG. b) Średnia kwadratowa (RMS) obliczona z ruchomym oknem o długości 0,25 ms. c) Znormalizowana RMS sygnału EMG. Image from Richards J. 2018.

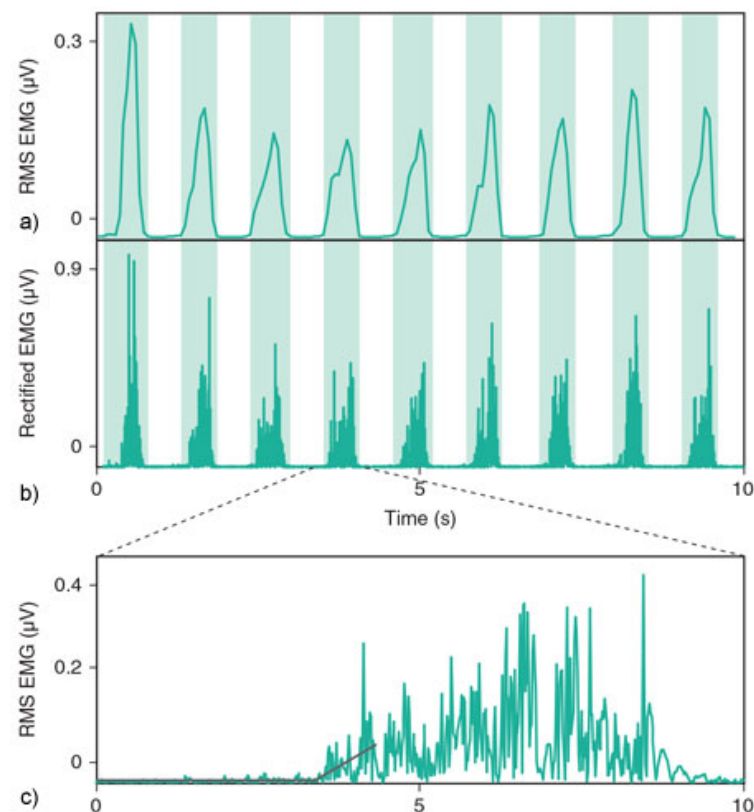
VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIŁOWEGO CHODU

Czas aktywacji EMG

Określenie czasu aktywacji odbywa się poprzez identyfikację momentu czasowego, w którym amplituda EMG wzrasta powyżej (początek) lub spada poniżej (koniec) ustalonego wcześniej poziomu bazowego.

Wyprostowane EMG lub RMS EMG są wykorzystywane do obliczania czasu aktywacji.

Rysunek 4 - a), b) Czasy aktywacji z EMG RMS i wyprostowanego sygnału EMG z mięśnia brzuchatego łydki podczas chodzenia. c) EMG RMS i nałożone linie regresji. Image from Richards J. 2018.

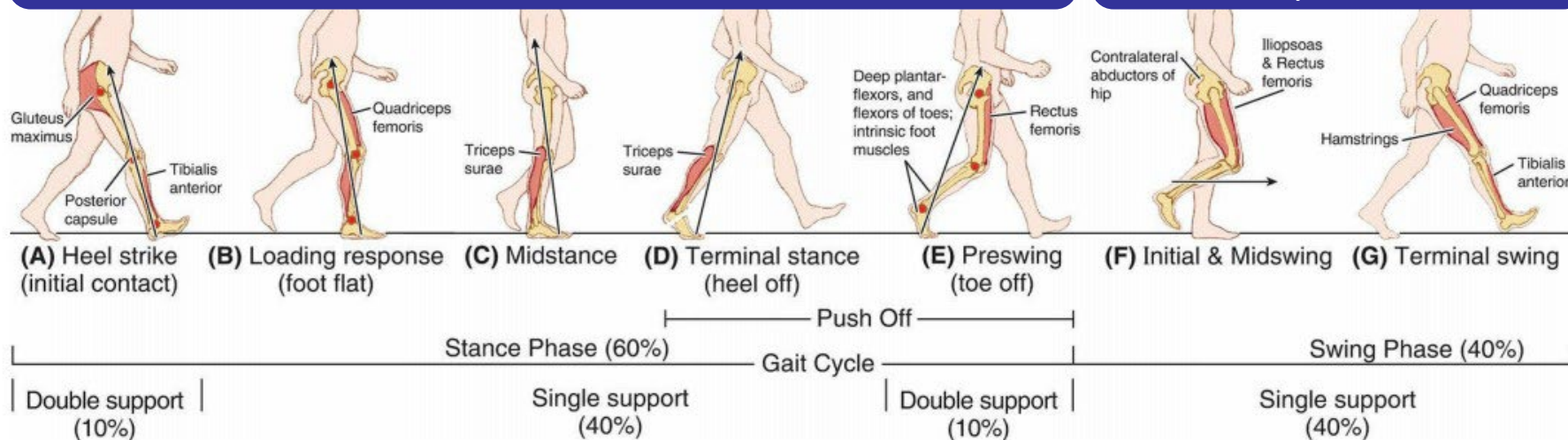


VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIDŁOWEGO CHODU

Wzorzec elektromiograficzny podczas chodu

Mięśnie kończyny postawy wspierają ciało (kontrola postawy) i napędzają je do przodu (progresja)

Aktywność mięśni na początku i na końcu fazy wymachu



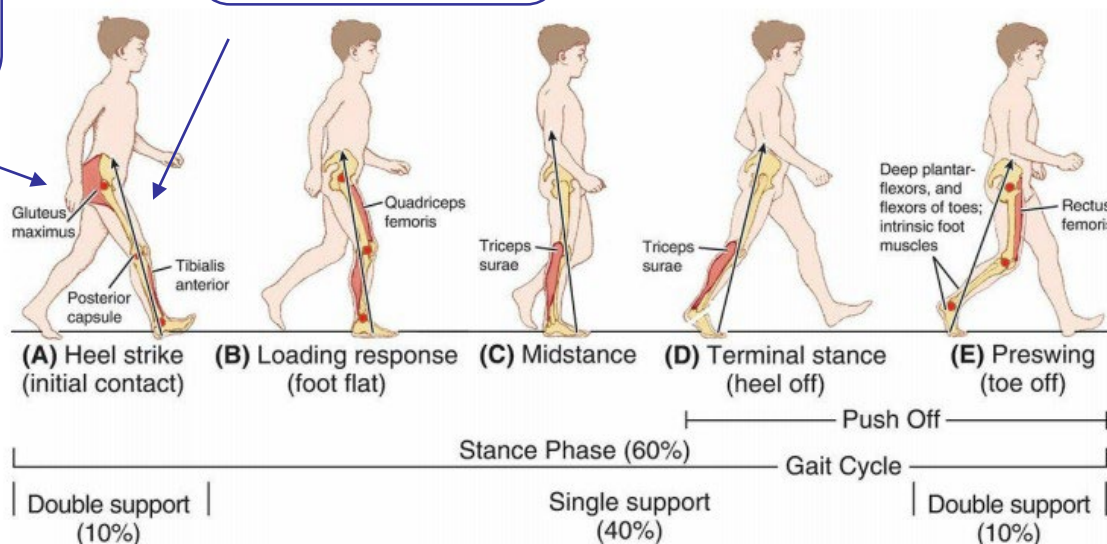
Ryc. 5. Wzorzec EMG związany z cyklem chodu u osób dorosłych. Obraz za Shumway-Cook A. i Woollacott M. 2017 r.

VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIDŁOWEGO CHODU

Wzór elektromiograficzny - faza stania

Aktywacja mięśnia pośladkowego wielkiego (gluteus maximus)

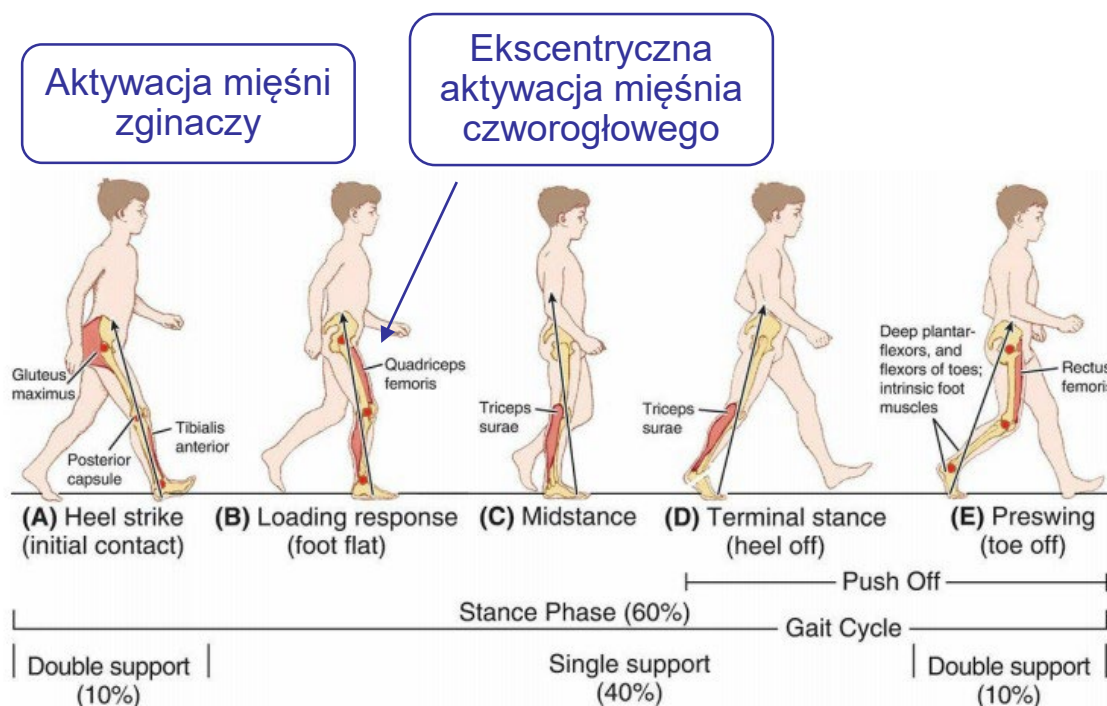
Ekscentryczna aktywacja kości piszczelowych przednich



Ryc. 6. Wzorzec EMG związany z cyklem chodu osoby dorosłej w fazie stania. Obraz za Shumway-Cook A. i Woollacott M. 2017 r.

VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIDŁOWEGO CHODU

Wzór elektromiograficzny - faza stania

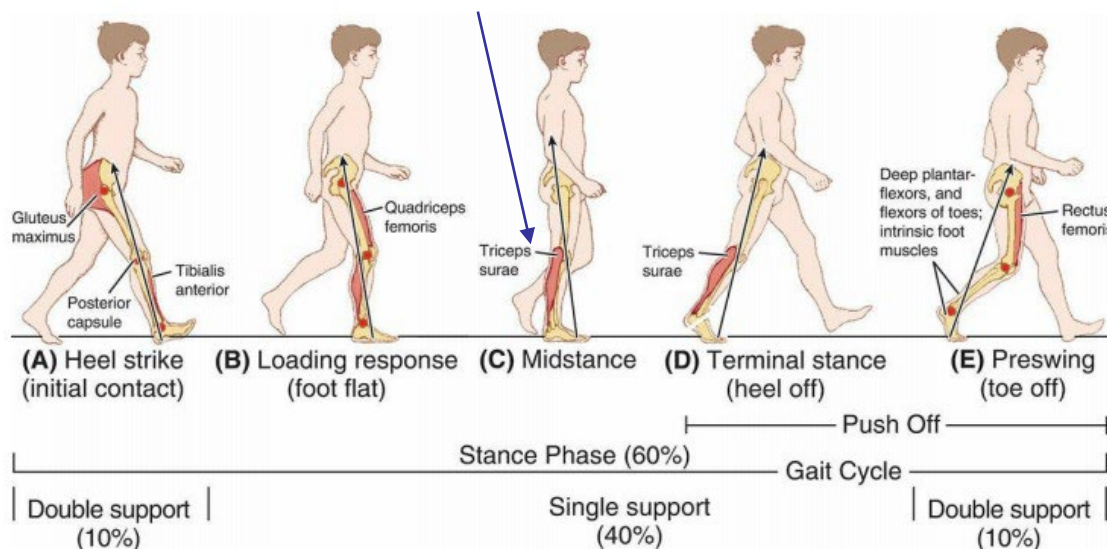


Ryc. 6. Wzorzec EMG związany z cyklem chodu osoby dorosłej w fazie stania. Obraz za Shumway-Cook A. i Woollacott M. 2017 r.

VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIDŁOWEGO CHODU

Wzór elektromiograficzny - faza stania

Aktywacja tylko mięśnia trójgłowego ramienia (triceps surae)



Ryc. 6. Wzorzec EMG związany z cyklem chodu osoby dorosłej w fazie stania. Obraz za Shumway-Cook A. i Woollacott M. 2017 r.

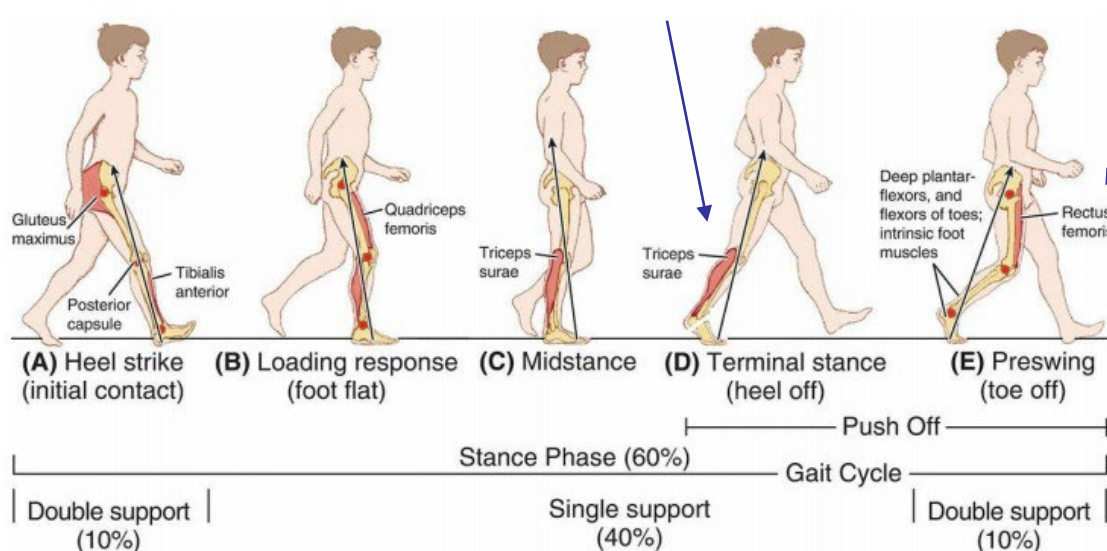
VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWDŁOWEGO CHODU

Wzór elektromiograficzny - faza stania

1° koncentryczny skurcz zginaczy podszwowych

+

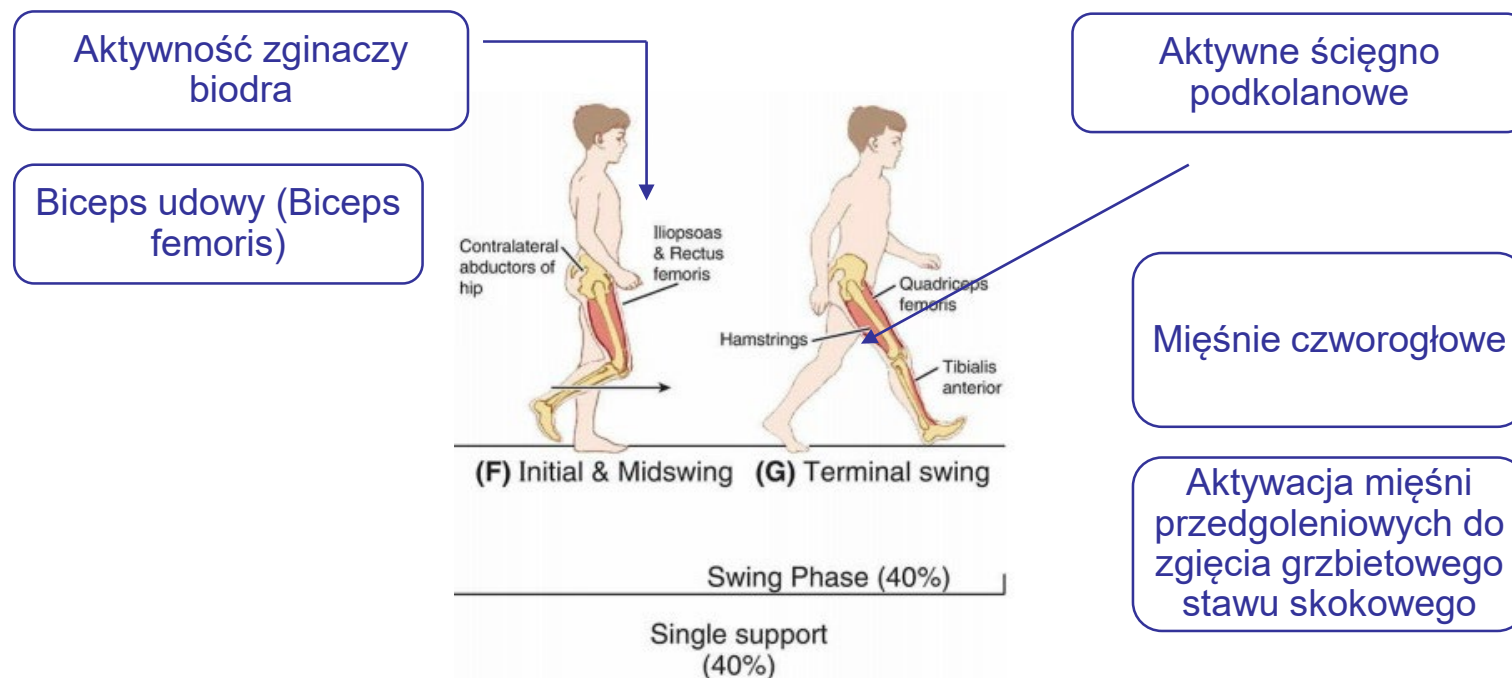
Wspomaganie zginaczy bioder podczas wymachu wstępnego



Ryc. 6. Wzorzec EMG związany z cyklem chodu osoby dorosłej w fazie stania. Obraz za Shumway-Cook A. i Woollacott M. 2017 r.

VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWDŁOWEGO CHODU

Wzorzec elektromiograficzny – Faza wymachu



Ryc. 7. Wzorzec EMG związany z cyklem chodu osoby dorosłej w fazie wymachu. Obraz za Shumway-Cook A. i Woollacott M. 2017 r.

VII. ELEKTROMIOGRAFICZNA OCENA PRAWIDŁOWEGO CHODU

Różnice wieku i płci

Autorzy	Różnice wiekowe	Różnice między płciami	Mięśnie
Bailey C. et al. 2019	tak	tak	EMG cycle-to-cycle variability, rectus femoris, gastrocnemius lateralis
Bailey C. et al. 2018	tak	tak	EMG within-cycle coefficient of variation, rectus femoris, gastrocnemius lateralis
Kwee-Meier S. et al. 2018	tak	-	Gastrocnemius medialis, m. soleus
Ribeiro N. et al. 2016	tak	-	Internal oblique, rectus femoris
Di Nardo F. et al. 2015	-	tak	tibialis anterior, gastrocnemius lateralis, vastus lateralis
Chung M. et al. 2010	tak	tak	tibialis anterior, rectus femoris

Rycina 8 - Wyniki kilku badań dotyczących aktywności elektromiograficznej podczas chodu pomiędzy grupami wiekowymi i płciowymi.

D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

VIII. Kluczowe pomysły

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that curves slightly upwards at both ends, positioned below the text "VIII. Kluczowe pomysły".

VIII. KLUCZOWE IDEE

1. W chodzie osób zdrowych na parametry uzyskane z oceny biomechanicznej mogą mieć wpływ cechy antropometryczne osoby ocenianej. Na prędkość chodu i długość kroku wpływać będzie wielkość osoby badanej oraz długość kończyn dolnych. W przypadku wartości sił reakcji podłoża, waga osoby badanej będzie miała wpływ na wyniki. Dlatego też lepszym rozwiązaniem jest przedstawienie wartości normalności znormalizowanych przez charakterystykę antropometryczną osoby badanej.
2. Tak jak dane antropometryczne wpływają na wyniki chodu osób zdrowych, tak wiek i płeć również mają wpływ na te wyniki. Podsumowując, różnice między płciami zaczynają się uwidaczniać po okresie dojrzewania, a wiek powoduje, że chodzimy wolniej, z mniejszą kinematyką kończyn dolnych i wywierając większy nacisk pod stopą.

VIII. KLUCZOWE IDEE

3. W ocenie chodu osób zdrowych za pomocą przyrządów biomechanicznych, nie jest on reprezentowany przez pojedynczą wartość normalności, ale przez zakres danych, w którym sprawność osób badanych jest normalna. W każdym przypadku warunki oceny, która ma na celu scharakteryzowanie prawidłowego wzorca chodu mogą być różne, ponieważ nie zawsze chodzimy w stałych warunkach. Z tego powodu w badaniach dotyczących tego zagadnienia analizuje się nie tylko chód przy komfortowej prędkości, ale także przy prędkościach wolnych i szybkich.

D.2 Jak wygląda normalna biomechaniczna ocena chodu?

IX. Bibliografia

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that curves slightly upwards at both ends, positioned below the "IX. Bibliografia" text.

IX. BIBLIOGRAFIA

- [1] Kobayashi, Y., Hobara, H., Heldoorn, TA., Kouchi, M. and Mochimaru, M. (2016). Age-independent and age-dependent sex differences in gait pattern determined by principal component analysis. *Gait & Posture*, 46:11-17.
- [2] Hollman, JH., McDade, EM., and Petersen, RC. (2011). Normative spatiotemporal gait parameters in older adults. *Gait & Posture*, 34:111-118.
- [3] Pietraszewski, B., Winiarski, S., and Jaroszczuk, S. (2012). Three-dimensional human gait pattern-reference data for normal men. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 14(3).
- [4] Richards J., Editor. *The Comprehensive Textbook of Clinical Biomechanics*. 2nd ed. Preston (UK): Elsevier, 2018.
- [5] Sánchez J., Prat J., Hoyos J., Viosca E., Soler C., Comín M., Lafuente R., Cortés A., Vera P. *Biomecánica de la marcha normal y patológica*. Valencia, España: Instituto de Biomecánica de Valencia, 1993.
- [6] Pinzone, O., Schwartz, M., Thomason, P., and Baker, R. (2014). The comparison of normative reference data from different gait analysis services. *Gait & Posture*, 40:286-290.
- [7] Shumway-Cook A.; Woollacott M. *Motor Control. Translating research into clinical practice*. Wolters Kluwer, Fifth Edition. 2017.

IX. BIBLIOGRAFIA

- [8] Perry J, Burnfield J. Gait Analysis. Normal and Pathological Function. SLACK Incorporated, Second Edition. 2010.
- [9] De Groote, F., De Laet, T., Jonkers, I., and De Schutter, J. (2008). Kalman smoothing improves the estimation of joint kinematics and kinetics in marker-based human analysis. *Journal of Biomechanics*, 41(16):3390-8.
- [10] Lewis C, Laudicina N, Khuu A, Loverrol K. the human pelvis: variation in structure and function during gait. *the anatomical record* 300:633–642 (2017).
- [11] Bruening, DA., Baird, AR. Weaver, KJ., and Rasmussen, AT. (2020). Whole body kinematic sex differences persist across non-dimensional gait speeds. *Plos One*, 15(8):e0237449.
- [12] Paróczai, R., Bejek, Z., Illyés, A., Kocsis, L., and Kiss, RM. (2006) Gait parameters of healthy, elderly people. *Physical Education and Sports*, 4(1):49-58.
- [13] Li, B., Xiang, Q., and Zhang, X. (2020). The center of pressure progression characterizes the dynamic function of higharched feet during walking. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2(1):1.
- [14] Buldt, AK., Forghany, S., Landorf, KB., Murley, GS., Levinger, P., and Menz, HB. (2018). Centre of pressure characteristics in normal, planus and cavus feet. *Journal of Foot and Ankle Research*, 11:3.

IX. BIBLIOGRAFIA

- [15] Fuchioka, S., Iwata, A., Higuchi, Y., Miyake, M., Kanda, S., Nishiyama, T. (2015). The Forward Velocity of the Center of Pressure in the Midfoot is a Major Predictor of Gait Speed in Older Adults. *International Journal of Gerontology* 9(2): 119-122.
- [16] Tsujinaka, S., Shima, H., Yasuda, T., Mori, K., Kizawa, M., Toge, K., and Neo, M. (2019). Comparison of Plantar Pressure Distribution Between Postoperative Hallux Valgus Feet and Healthy Feet. *Foot Ankle International*, 40(5):578-585.
- [17] Hessert, MJ., Vyas, M., Leach, J., Hu, K., Lipsitz, LA., and Novak, V. (2005). Foot pressure distribution during walking in young and old adults. *BMC Geriatrics*, 5:8.
- [18] Demirbüken, I., Özgül, B., Timurtas, E., Yurdalan, SU., Çekin, MD., and Polat, MG. (2019). Gender and age impact on plantar pressure distribution in early adolescence. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 53:215-220.
- [19] Gimunova, M., Zvonar, M., and Mikeska, O. (2018). The effect of aging and gender on plantar pressure distribution during the gait in elderly. *Acta off Bioengineering and Biomechanics*, 20(3).
- [20] Mckay, MJ., Baldwin, JN., Ferreira, P., Simic, M., Vanicek, N., Wojciechowski, E., Mudge, A., and Burns, J. (2017). Spatiotemporal and plantar pressure patterns of 1000 healthy individuals aged 3-101 years. *Gait & Posture*, 58:78-87.

IX. BIBLIOGRAFIA

- [21] Bailey C, Portab M, Pillonib G, Arrippab F, Paub M, Côtéa J. Sex-independent and dependent effects of older age on cycle-to-cycle variability of muscle activation during gait. *Experimental Gerontology* 124 (2019) 110656.
- [22] Bailey C, Portab M, Pillonib G, Arrippab F, Paub M, Côtéa J. Sex-dependent and sex-independent muscle activation patterns in adult gait as a function of age. *Experimental Gerontology* 110 (2018) 1-8.
- [23] Kwee-Meiera S, Mertensa A, Jeschkeb S. Age-induced changes in the lower limb muscle activities during uphill walking at steep grades. *Gait & Posture* 62 (2018) 490–496.
- [25] Ribeiro Marquesa N, Zamfolini Hallalb C, Hebling Spinosoa D, Fernandez Crozarac L, Hellen Morcellic A, Harumi Karukad A, Tavella Navegaa M, Gonçalvesc M. Age-related alterations in the activation of trunk and lower limb muscles during walking. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation* 29 (2016) 295–300.
- [26] Di Nardoa F, Mengarellia A, Maranesia E, Burattinia L, Fiorettiaa S. Department Gender differences in the myoelectric activity of lower limb muscles in young healthy subjects during walking. *Biomedical Signal Processing and Control* 19 (2015) 14–22.
- [27] Meng-Jung Chung, Mao-Jiun J. Wang. The change of gait parameters during walking at different percentage of preferred walking speed for healthy adults aged 20–60 years. *Gait & Posture* 31 (2010) 131–135.



Wsparcie Komisji Europejskiej dla produkcji tej publikacji nie stanowi poparcia dla treści, które odzwierciedlają jedynie poglądy autorów, a Komisja nie może zostać pociągnięta do odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie informacji w niej zawartych.

