

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



MODUL BIOMECHANIK DES GANGBILDES

Didaktische Einheit D: INSTRUMENTIERTE ANALYSE DES GANGS

D.2 NORMALE BIOMECHANISCHE BEWERTUNG DES GANGS



D.2 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

Index der didaktischen Einheit

- I. Ziele
- II. Bedeutung von normativen Gangdaten in der klinischen Praxis
- III. Räumlich-zeitliche Beurteilung des normalen Gangs
- IV. Kinematische Beurteilung des normalen Gangs
- V. Kinetische Beurteilung des normalen Gangs
- VI. Bewertung des Plantardrucks während des normalen Gangs
- VII. Elektromyographische Beurteilung des normalen Gangs
- VIII. Wichtige Ideen
- IX. Referenzen

D.2 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

I. Ziele

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

I. ZIELE

1. Die Relevanz von normativen Gangdaten in der klinischen Praxis zu kennen.

2. Überblick über die wichtigsten Ergebnisse, die den menschlichen Gang charakterisieren, ihre Definition und klinische Relevanz.

3. Die normativen Werte der biomechanischen Bewertung des menschlichen Gangs bei gesunden Menschen und den Einfluss von Alter und Geschlecht auf die Ergebnisse zu kennen.

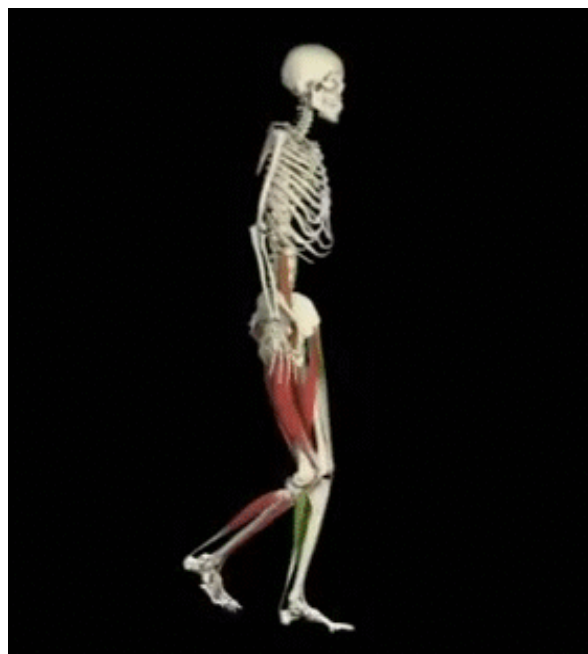
D.2 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

II. Bedeutung von normativen Gangdaten in der klinischen Praxis



II. BEDEUTUNG VON NORMATIVEN GANGDATEN IN DER KLINISCHEN PRAXIS

Warum müssen wir das normale Gangbild kennen?



Vergleichen
Sie

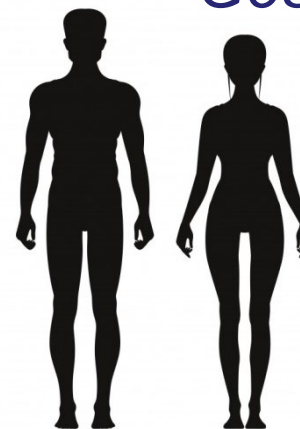
Diagnose

Behandlung

II. BEDEUTUNG VON NORMATIVEN GANGDATEN IN DER KLINISCHEN PRAXIS

Wie variiert das Gangbild in der gesunden Bevölkerung?

Einfluss des Geschlechts



Einfluss des Alters

D.2 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

III. Räumlich-zeitliche Beurteilung des normalen Gangs

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that spans across the width of the text above it, tapering at both ends.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

- Gerät zur Messung raum-zeitlicher Parameter

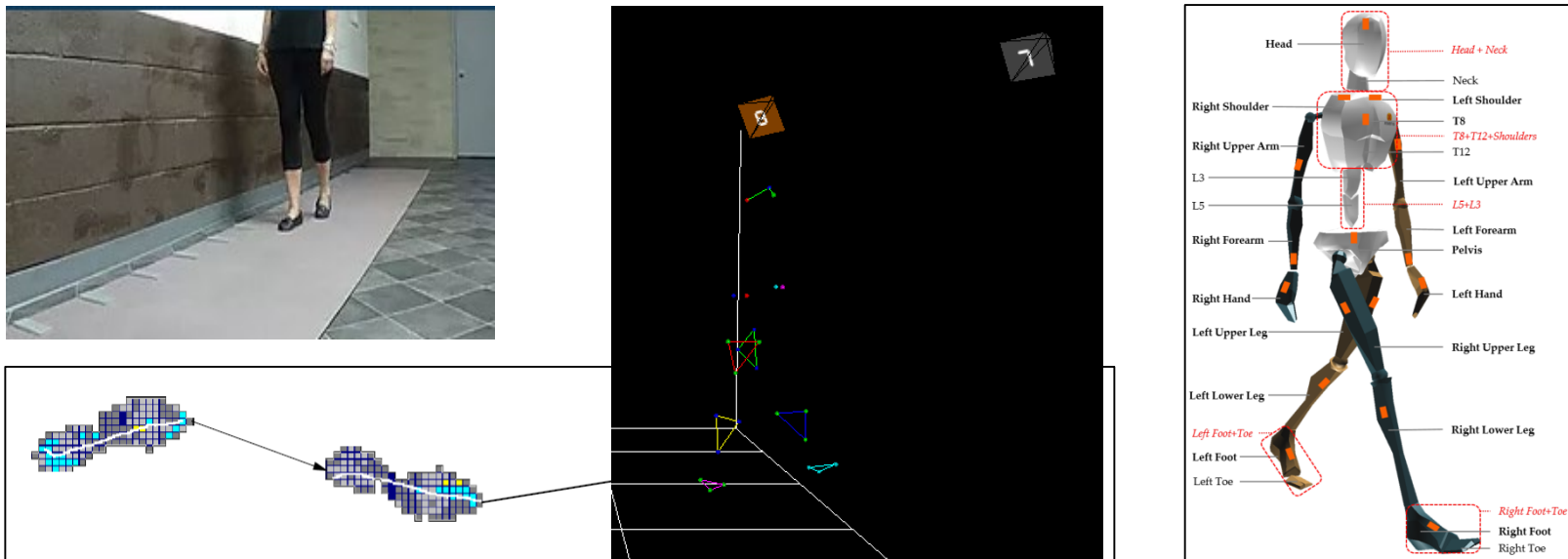


Abbildung 1 - Biomechanische Werkzeuge. Links: instrumentierter Gehweg von GAITrite. Mitte: 3D-Fotogrammetriesystem von Kinescan/IBV. Rechts: IMU-Sensoren von Xsens.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Raumzeitliche Parameter

- Gehgeschwindigkeit / Ganggeschwindigkeit (m/s oder km/h): Weg, den ein Körper in einer Zeiteinheit zurücklegt.
- Korreliert mit mehreren Gesundheitsparametern.
- Bedingungen der Messung bei bevorzugter, schneller und langsamer Ganggeschwindigkeit.

Gait speed	Andere Autoren: 1,20 - 1,53 m/s (Murray 1970, Chao 1983, Kadaba 1990, Perry 1992)
gait speed [m/s]	

Abbildung 2 - Ergebnisse der Ganggeschwindigkeit aus Pietraszewski B. et al. 2012. Die Teilnehmer waren junge Männer mit 1795 ± 46 mm Körpergröße.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Raumzeitliche Parameter

- Signifikanter Interaktionseffekt von *Alter x Geschlecht* auf die Ganggeschwindigkeit.

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 J. All	1.35 \pm 0.16	1.34 \pm 0.18	1.37 \pm 0.14
52,74 J. Young	1.36 \pm 0.15	1.37 \pm 0.17	1.36 \pm 0.13
68,01 J. Middle	1.41 \pm 0.19	1.41 \pm 0.23	1.40 \pm 0.14
68,01 J. Elderly	1.32 \pm 0.15	1.29 \pm 0.14	1.36 \pm 0.15

Abbildung 3 - Ergebnisse zur Ganggeschwindigkeit aus Kobayashi Y. et al. 2016. Die Teilnehmer waren jung (Mittelwert 27,21 Jahre alt), mittelalt (Mittelwert 52,74 Jahre alt) und älter (Mittelwert 68,01 Jahre alt). Das Gehen wurde mit selbstgewählter Geschwindigkeit registriert.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Raumzeitliche Parameter

- Signifikante Auswirkung des *Geschlechts* auf die Ganggeschwindigkeit von gesunden Menschen über 70 Jahren.

Gait speed (cm/s)^{††}

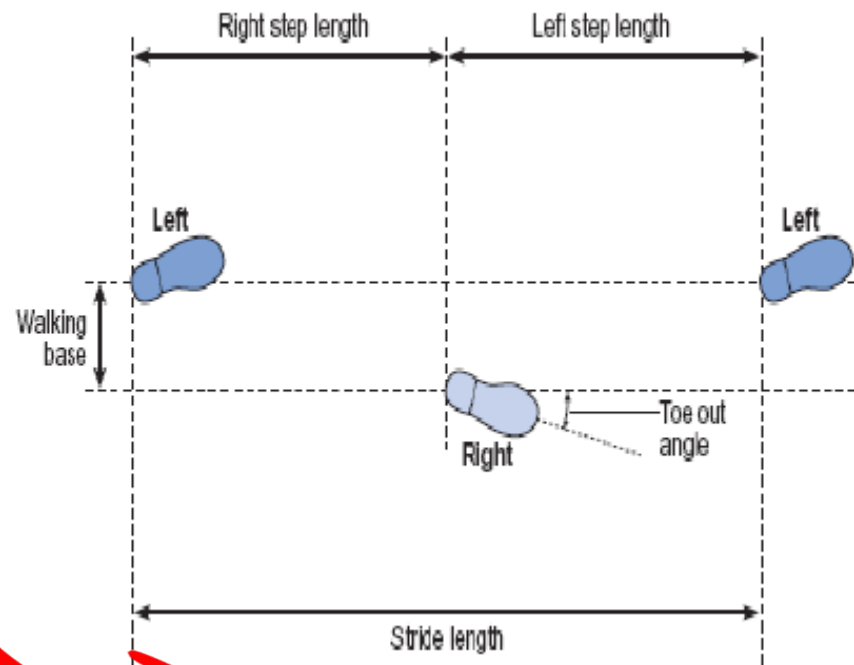
Men (N=108)				Women (N=186)			
70-74	75-79	80-84	85+	70-74	75-79	80-84	85+
N=27	N=30	N=37	N=14	N=33	N=77	N=43	N=33
117 ± 16	122 ± 15	112 ± 17	101 ± 22	116 ± 20	112 ± 17	101 ± 15	98 ± 20

Abbildung 4 - Ergebnisse der Ganggeschwindigkeit aus Hollaman J. et al. 2011. Das Gehen wurde mit selbstgewählter Geschwindigkeit registriert.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Räumliche Parameter

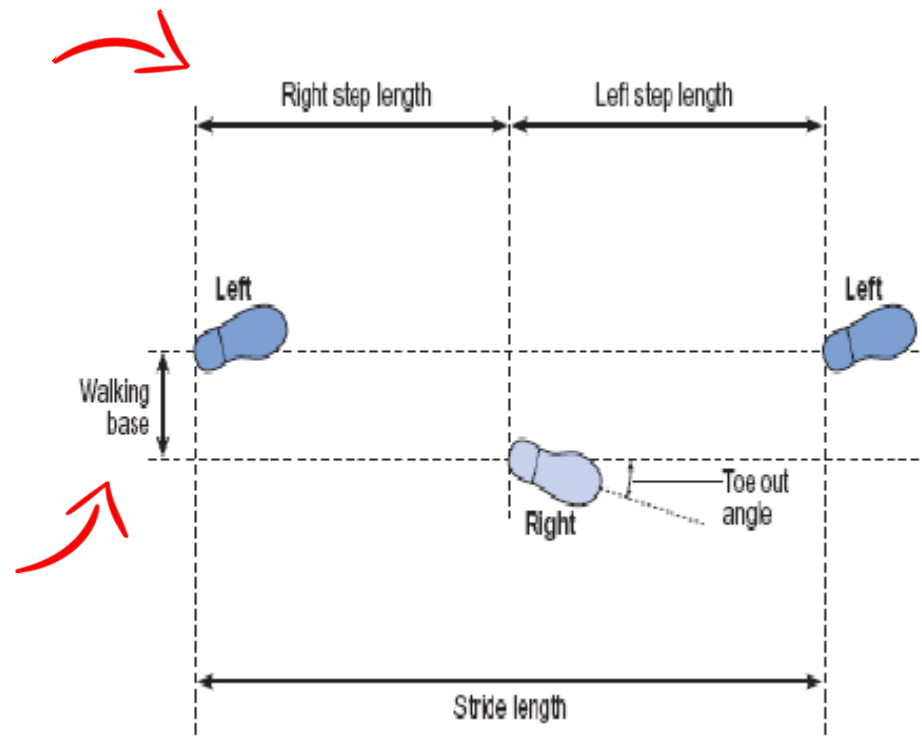
- Schrittlänge (m): Anterior-posteriorer Abstand zwischen den Fersen von zwei aufeinanderfolgenden Fußabdrücken desselben Fußes (von links nach links, von rechts nach rechts); zwei Schritte (z. B. ein rechter Schritt gefolgt von einem linken Schritt) umfassen einen Schritt oder einen Gangzyklus.



III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Räumliche Parameter

- Schrittlänge (m): Anterior-posteriorer Abstand von der Ferse des einen Fußabdrucks zur Ferse des gegenüberliegenden Fußabdrucks.
- Schrittweite (m): Seitlicher Abstand von der Fersenmitte eines Fußabdrucks bis zur Verlaufslinie, die von zwei aufeinanderfolgenden Fußabdrücken des gegenüberliegenden Fußes gebildet wird.



III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Räumliche Parameter

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

Abbildung 5 - Ergebnisse der räumlichen Parameter aus Pietraszewski B. et al. 2012. Die Teilnehmer waren junge Männer mit 1795 ± 46 mm Körpergröße.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Räumliche Parameter

- Geschlecht und Alter haben unabhängig voneinander einen Einfluss auf die Schrittlänge.
- Bei der Stufenbreite ist die Interaktion von Geschlecht x Alterseffekt signifikant.

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

Abbildung 6 - Ergebnisse der räumlichen Parameter aus Kobayashi Y. et al. 2016. Die Teilnehmer waren jung (Mittelwert 27,21 Jahre alt), mittelalt (Mittelwert 52,74 Jahre alt) und älter (Mittelwert 68,01 Jahre alt). Das Gehen wurde mit selbst gewählter Geschwindigkeit registriert.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Räumliche Parameter

- Signifikanter Effekt des *Alters* auf die Schritt- und Schrittlänge von gesunden Menschen über 70 Jahren. Bei einer Normalisierung der Länge verschwindet der Effekt des Geschlechts.

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

Abbildung 7 - Ergebnisse der räumlichen Parameter aus Hollaman J. et al. 2011. Das Gehen wurde mit selbstgewählter Geschwindigkeit registriert.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Zeitliche Parameter

- Trittfrequenz (Schritte/min): Anzahl der Schritte pro Minute, manchmal auch als Schrittfrequenz bezeichnet.
- Schrittzeit (s): Zeit, die vom ersten Kontakt eines Fußes bis zum ersten Kontakt des anderen Fußes vergeht.
- Schrittzeit (s): Zeit, die zwischen den ersten Kontakten von zwei aufeinanderfolgenden Schritten desselben Fußes verstreicht.
- Standzeit (s): Zeit, die zwischen dem ersten Kontakt und dem letzten Kontakt eines einzelnen Fußabdrucks vergeht.
- Schwungzeit (s): Zeit, die zwischen dem letzten Kontakt des aktuellen Trittes bis zum ersten Kontakt des nächsten Trittes desselben Fußes vergeht.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Zeitliche Parameter

- Einzelstützzeit (s): Zeit, die zwischen dem letzten Kontakt des gegenüberliegenden Fußes und dem ersten Kontakt des nächsten Fußes desselben Fußes vergeht.

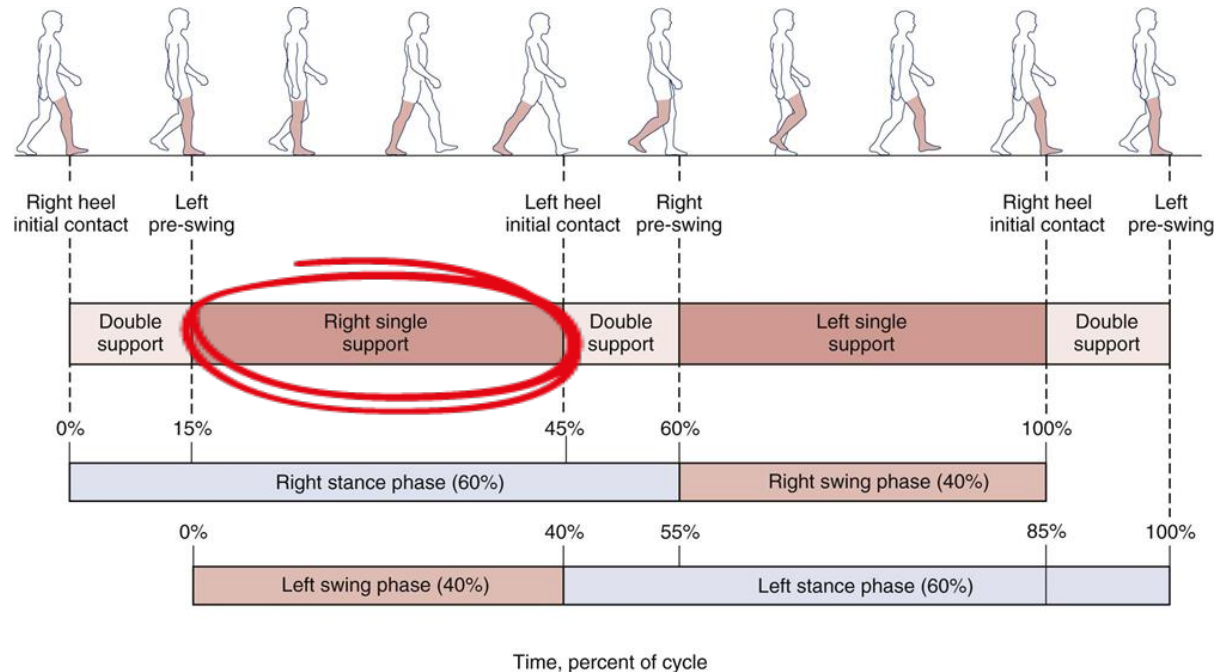


Abbildung 8. Gangzyklus und zeitliche Segmentierung (%). Bild aus www.musculoskeletalkey.com

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Zeitliche Parameter

- Doppelstützzeit (s): Summe der Zeit, die während zwei Perioden der doppelten Unterstützung im Gangzyklus verstrichen ist.

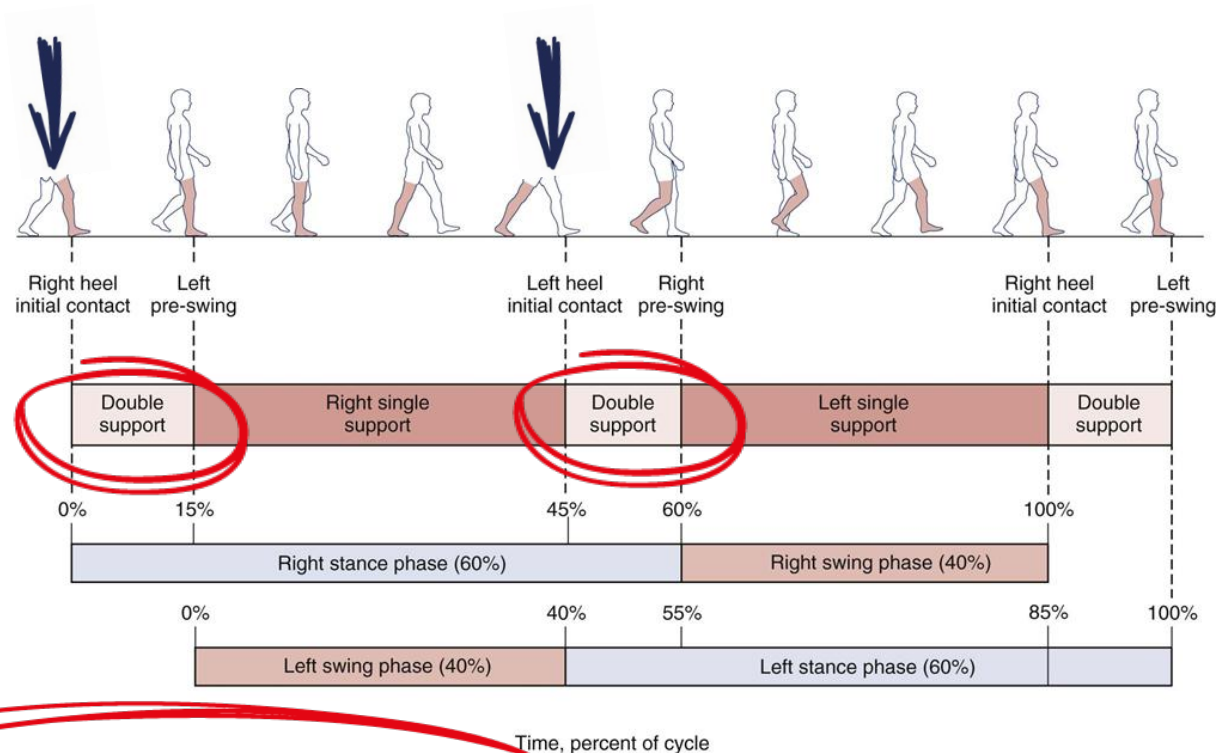


Abbildung 8. Gangzyklus und zeitliche Segmentierung (%). Bild aus www.musculoskeletalkey.com

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Zeitliche Parameter

Gait speed	Andere Autoren: 102 - 117 Schritte / min (Murray 1970, Chao 1983, Kadaba 1990, Perry 1992)		
cadence [steps/min]			
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

Abbildung 9- Zeitliche Parameterergebnisse aus Pietraszewski B. et al. 2012. Teilnehmer waren junge Männer mit 1795 ± 46 mm Körpergröße.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Zeitliche Parameter

- Interaktions-
effekt von Alter
und Geschlecht
auf Stand- und
Schwungdauer.

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

Abbildung 10 - Ergebnisse der räumlichen Parameter aus Kobayashi Y. et al. 2016. Die Teilnehmer waren jung (Mittelwert 27,21 Jahre alt), mittelalt (Mittelwert 52,74 Jahre alt) und älter (Mittelwert 68,01 Jahre alt). Das Gehen wurde mit selbstgewählter Geschwindigkeit registriert.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Zeitliche Parameter

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

Abbildung 11 - Ergebnisse der räumlichen Parameter aus Hollaman J. et al. 2011. Gehen wurde mit selbstgewählter Geschwindigkeit registriert.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Temporophasische Parameter

- Standzeit (%GC):
Standzeit, normiert auf die Schrittzeit.
- Schwungzeit (%GC):
Schwungzeit, normiert auf die Schrittzeit.

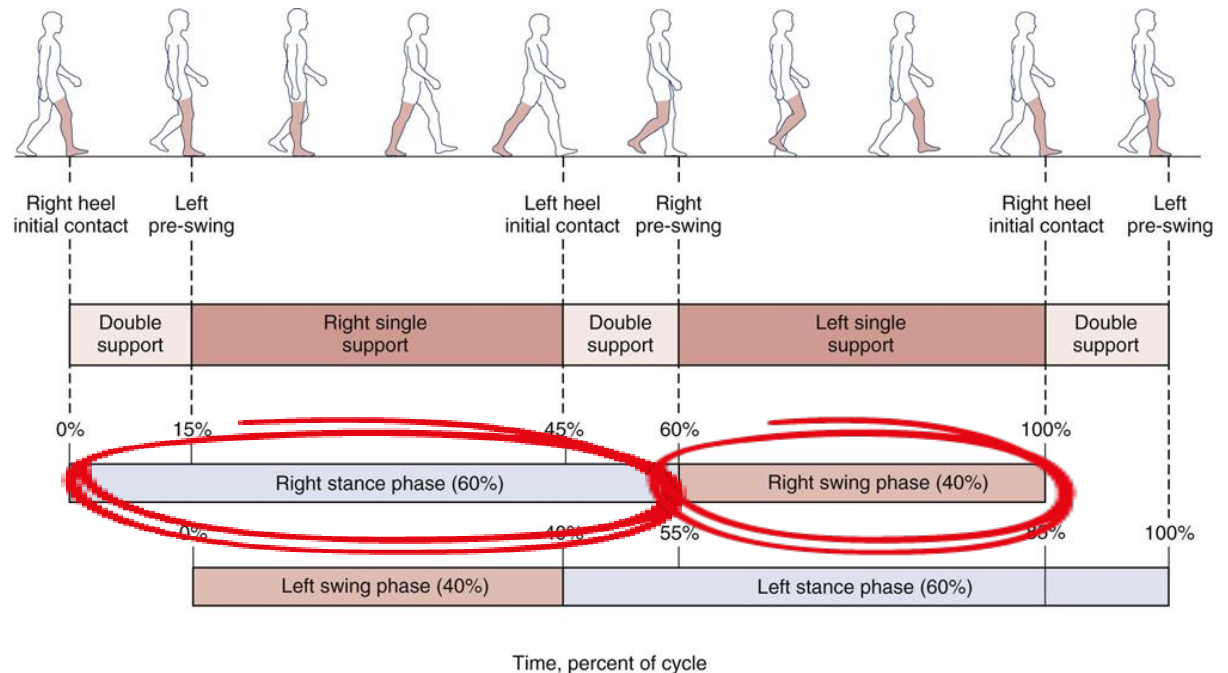


Abbildung 7. Gangzyklus und zeitliche Segmentierung (%). Bild aus www.musculoskeletalkey.com

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Temporophasische Parameter

- Einzelne Unterstützungszeit (%GC): Einzelne Unterstützungszeit, normiert auf die Verfahrzeit.
- Doppelte Unterstützungszeit (%GC): Doppelte Unterstützungszeit, normiert auf die Schrittzeit.

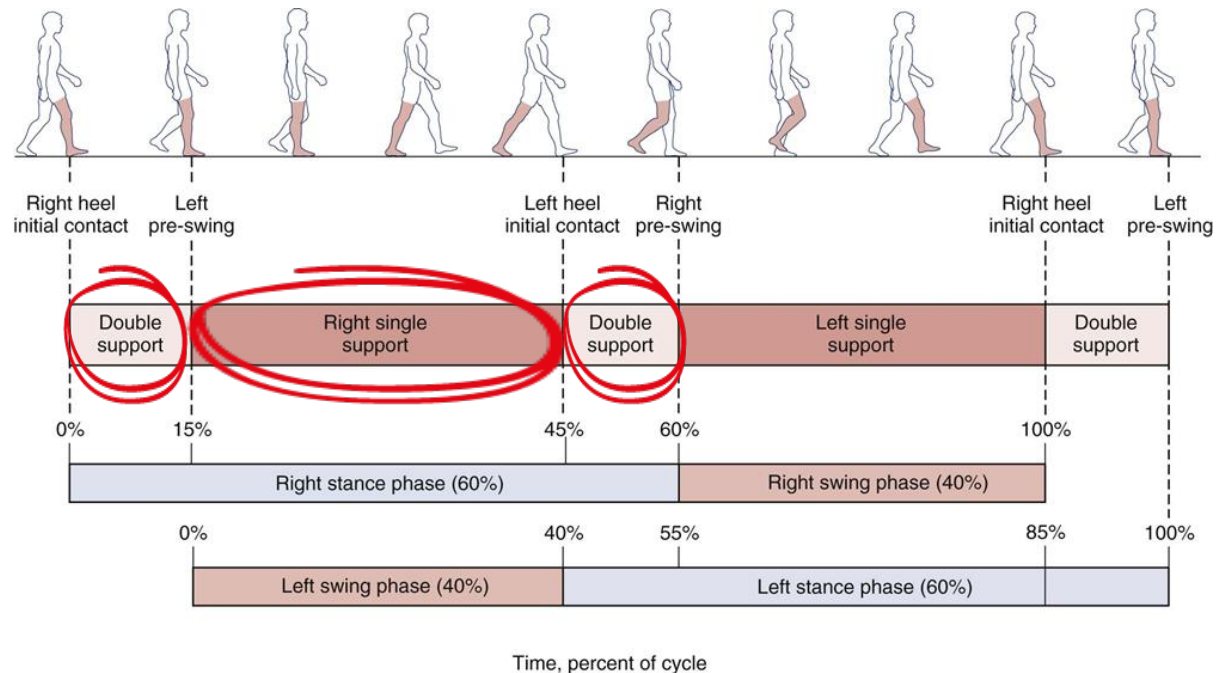


Abbildung 7. Gangzyklus und zeitliche Segmentierung (%). Bild aus www.musculoskeletalkey.com

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Temporophasische Parameter

- Die Standdauer nimmt ab und die relative Schwungdauer nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit zu.

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

Abbildung 12 - Ergebnisse der temporophasischen Parameter aus Pietraszewski B. et al. 2012. Die Teilnehmer waren junge Männer (Mittelwert 22 ± 1 Jahre alt) mit 1795 ± 46 mm Körpergröße.

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Temporophasische Parameter

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	0.59 ± 0.04
Middle	0.57 ± 0.05	0.59 ± 0.05	0.55 ± 0.03
Elderly	0.58 ± 0.05	0.61 ± 0.04	0.55 ± 0.04
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

III. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Temporophasische Parameter

- Bei Probanden, die älter als 70 Jahre waren, unterschied sich die doppelte Stützzeit zwischen den Geschlechtern.
- Auch das Alter beeinflusst die doppelte Unterstützungszeit.

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

Abbildung 14 - Ergebnisse der temporophasischen Parameter aus Hollaman J. et al. 2011. Das Gehen wurde mit selbst gewählter Geschwindigkeit registriert.

D.2 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

IV. Kinematische Beurteilung des normalen Gangs

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

II. RAUM-ZEITLICHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

- Gerät zur Messung kinematischer Parameter

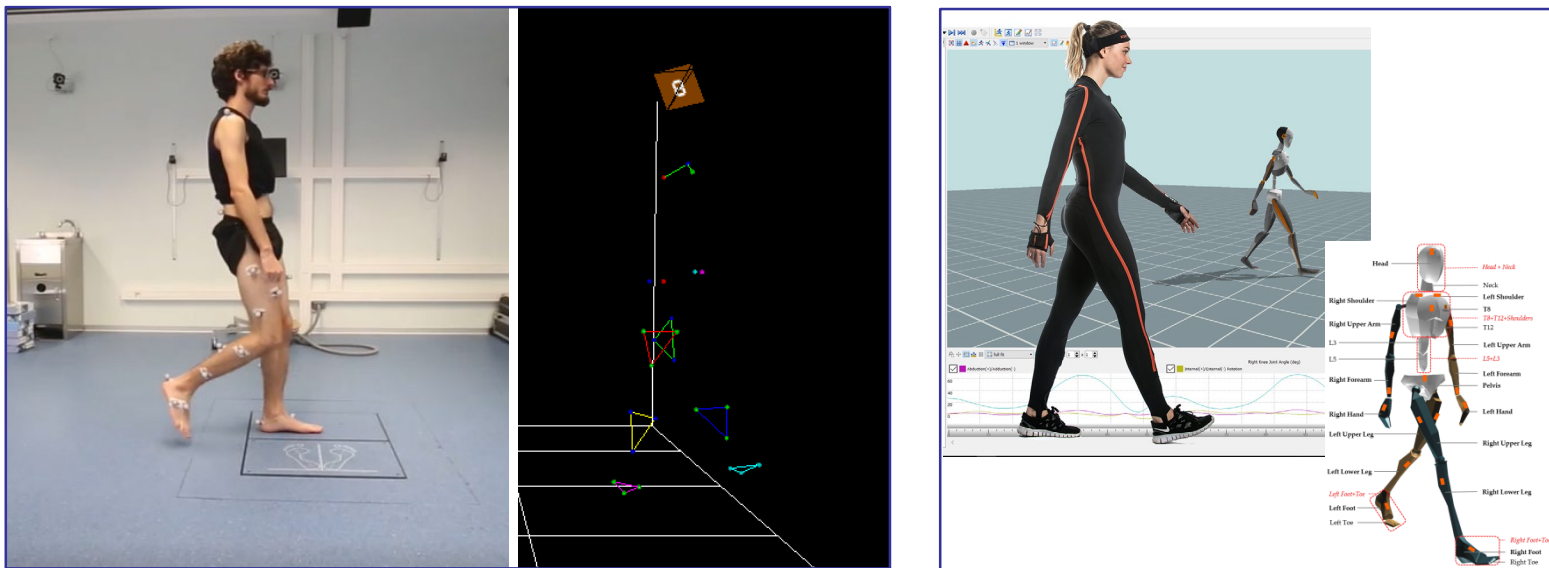


Abbildung 1 - Biomechanische Werkzeuge. Links: 3D-Photogrammetriesystem von Kinescan/IBV. Rechts: IMU-Sensoren von Xsens (Motion Capture System).

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Bewegungsebenen

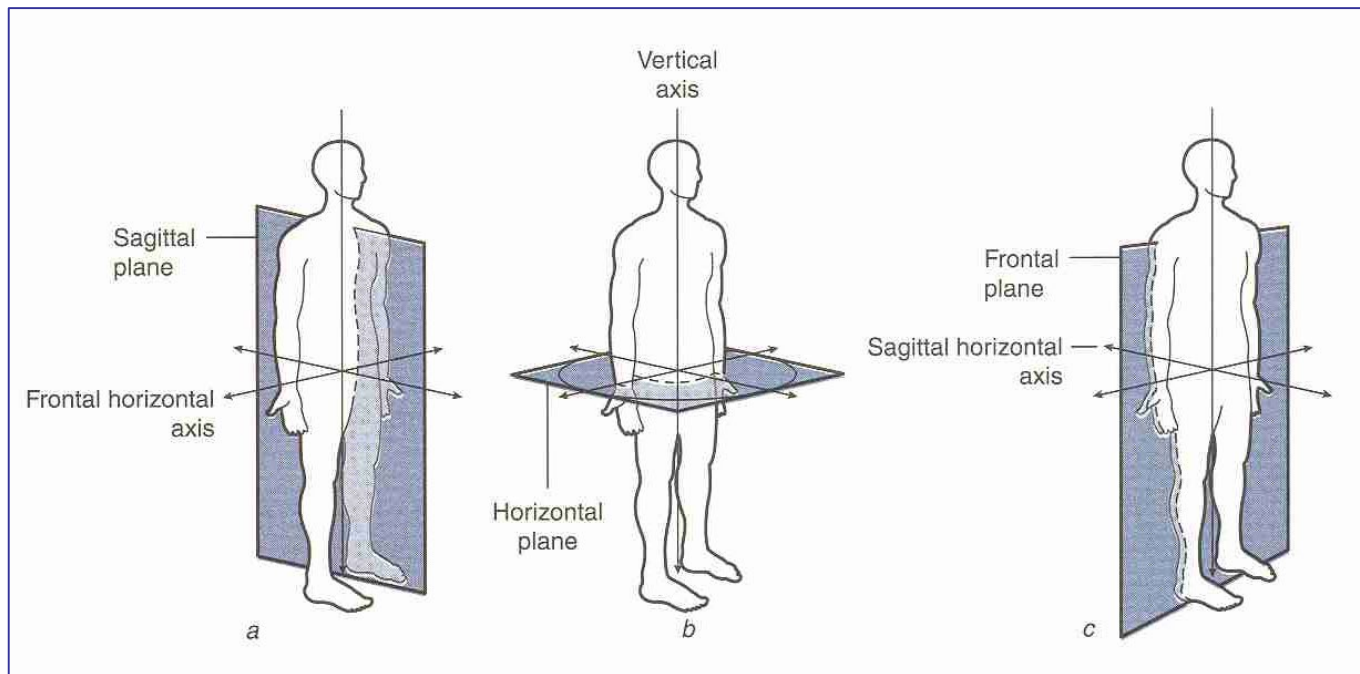


Abbildung 2 - Bewegungsebenen. Die Gangkinematik wird in (a) der Sagittalebene, (b) der horizontalen oder transversalen Ebene und (c) der Frontalebene beschrieben.

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kurven der Bewegung

FRONTAL	SAGITTAL	TRANSVERSE
-	Plantarflexion-Dorsalextension	Fußdrehung
-	Kniebeugung - Streckung	-
Abduktion-Adduktion der Hüfte	Hüftbeugung/-streckung	Hüftdrehung
Beckenschiefstand	Beckenkipfung	Rotation des Beckens

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Ergebnisse von Gelenkbewegungen

- Bereich der Bewegung
- Maximale Beugung/Extension
- Winkelgeschwindigkeit¹⁴
- Winkelbeschleunigung
- Ruckeln

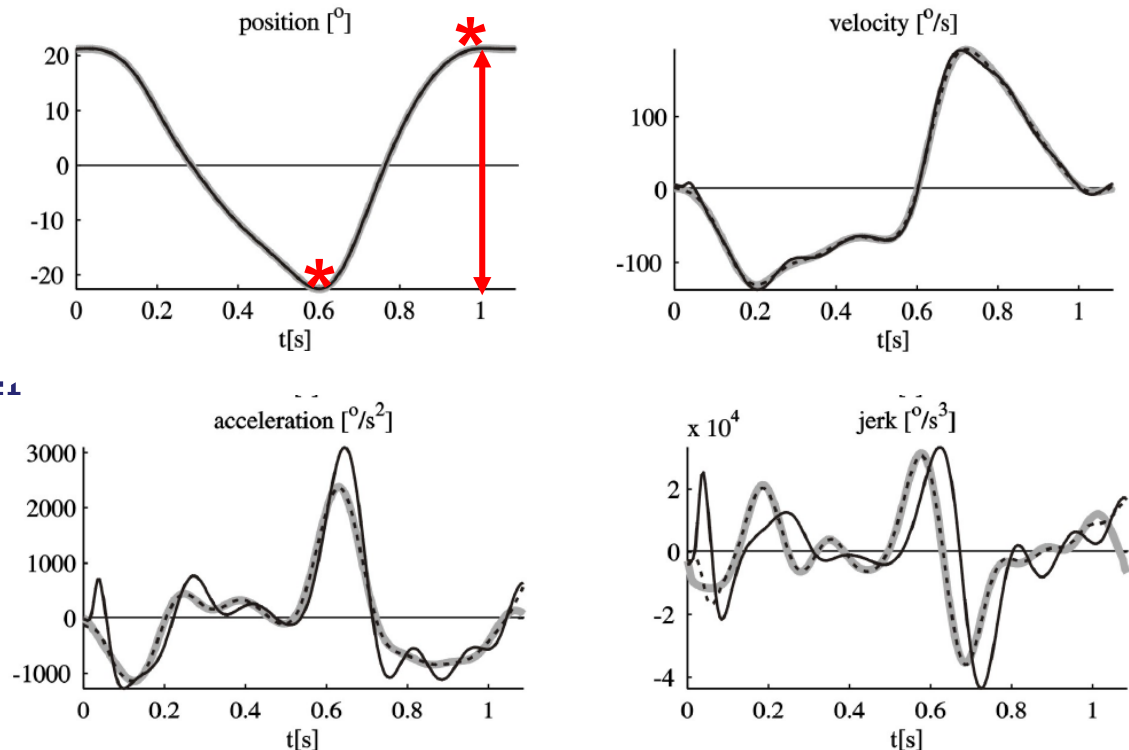


Abbildung 3 - Schätzungen von Winkelposition, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Ruck der Hüfte aus De Groot, F. et al. 2008

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Zur Erinnerung: Perioden und Phasen des Gangzyklus

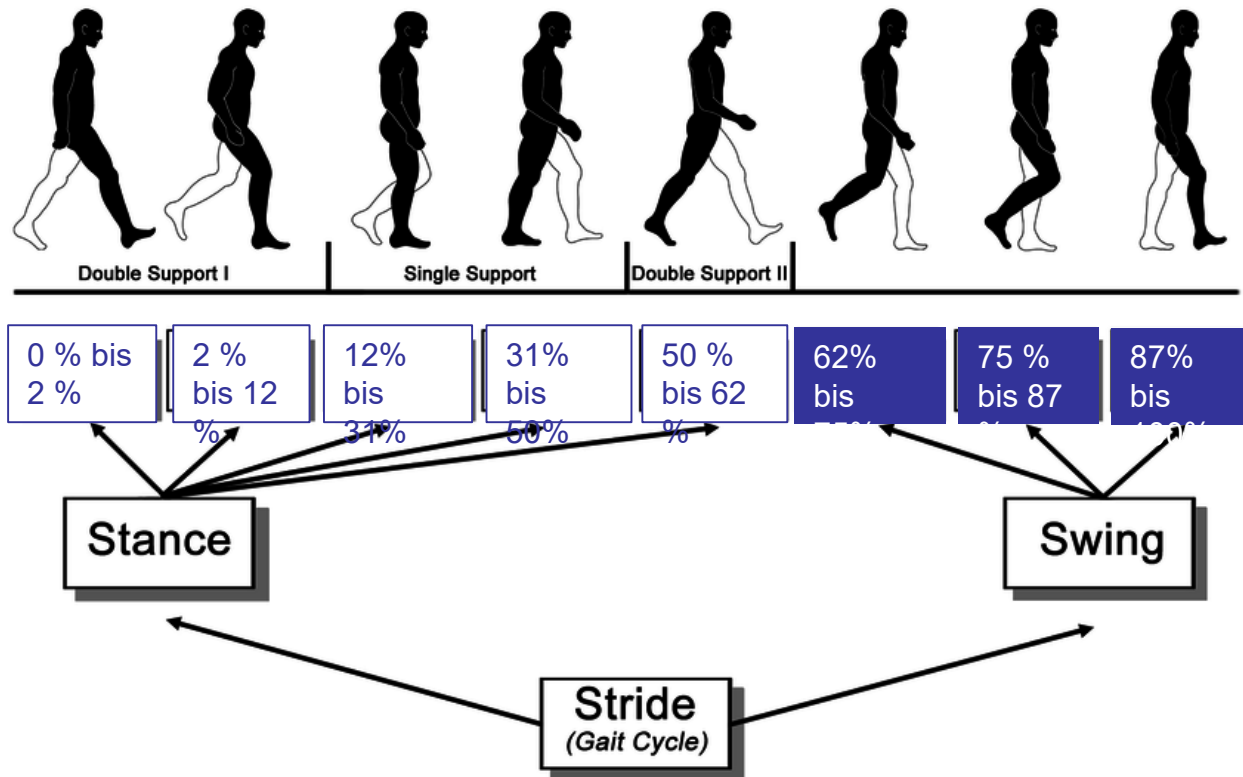


Abbildung 5 - Zeitraum und Phasen des Gangzyklus. In jeder Unterphase ist der Prozentsatz des Gangs, in dem sie stattfindet, dargestellt. (Perry J und Burnfield J. 2010)

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik des Sprunggelenks

- Sagittalebene.
- Erstkontakt: neutrale Position.
- Lastverhalten: 1° Plantar-Flexion.
- Endstellung: 1 Dorsal-Flexion.
- Vorschwingen: 2° Plantar-Flexion.
- Mittel-/Terminalschwung: 2° Dorsal-Flexion.

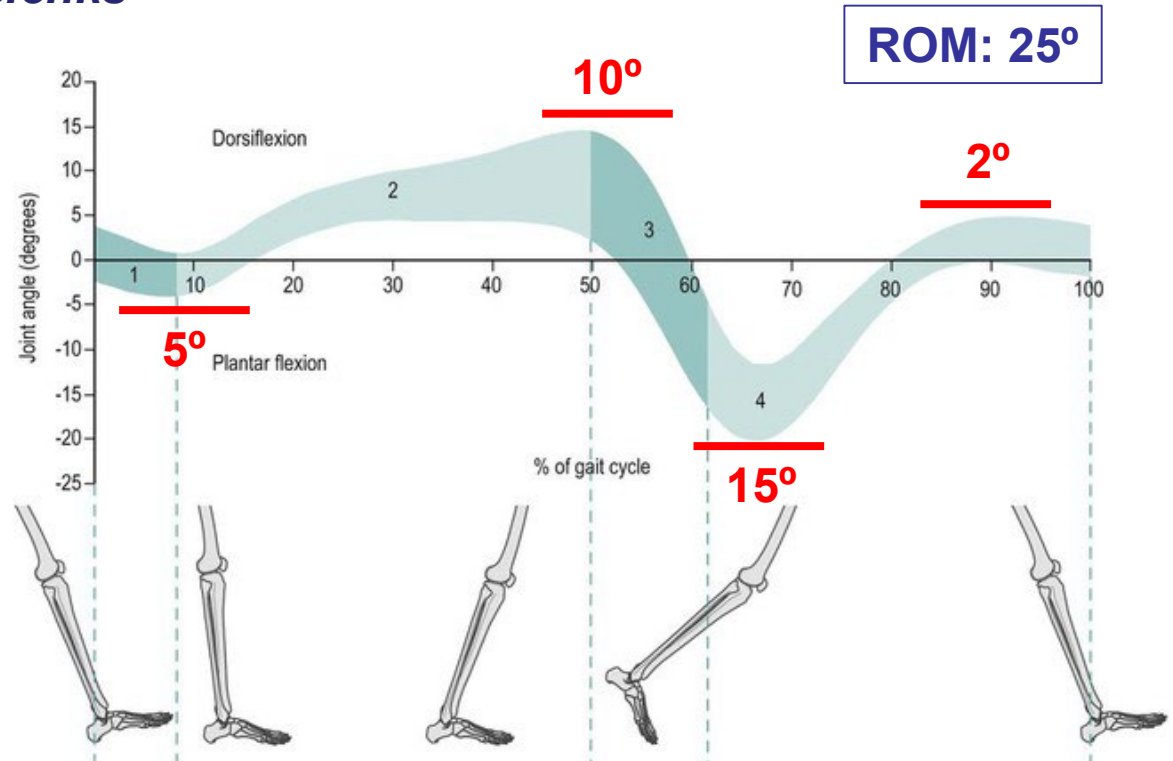


Abbildung 6 - Knöchelbewegung in der Sagittalebene durch den Gangzyklus. Bild aus Richards J. 2015

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik des Fußes

- Subtalar-, Mittelfuß- und Metatarsalgelenk haben messbare Bewegungsbögen beim Gehen
- Subtalargelenk ermöglicht Inversion und Eversion.
- Erstkontakt: neutrale Position.
- Mittelstellung: maximale Eversion.
- Schwungphase: neutrale Position.

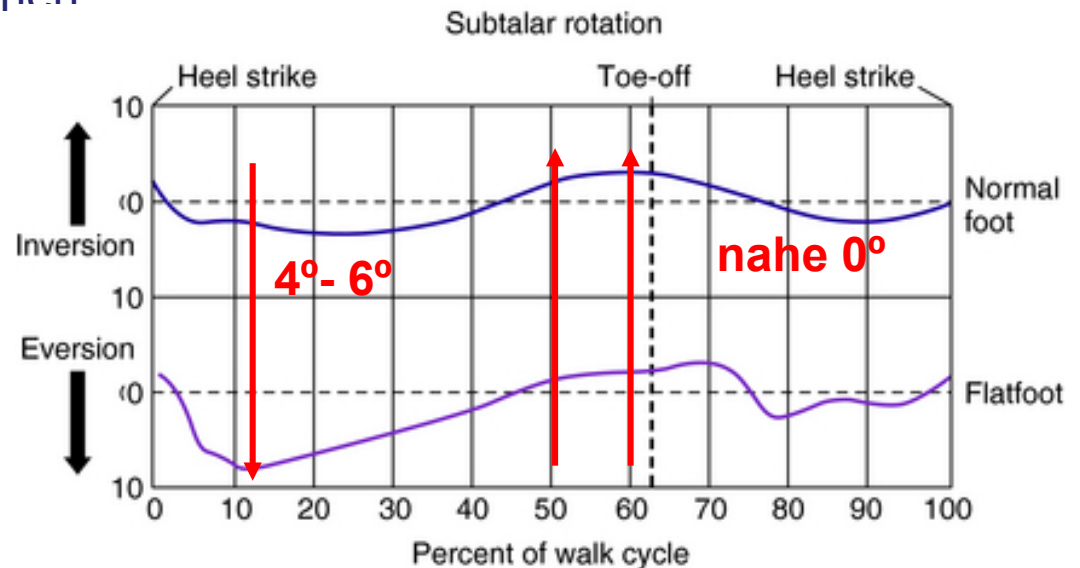


Abbildung 7 - Subtalarbewegung durch den Gangzyklus. Bild aus <https://musculoskeletalkey.com>

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik des Knies

- Sagittale Ebene: Beugung und Streckung des Knies.
- Erstkontakt: leichte Beugung.
- Zwischen Belastungsreaktion und Standmitte: erste Beugungsspitze.
- Terminal stance: erste Ausfahrspitze.
- Anfänglicher Schwung: zweite Beugungsspitze.
- Klemmenausschlag: zweite Ausfahrspitze.

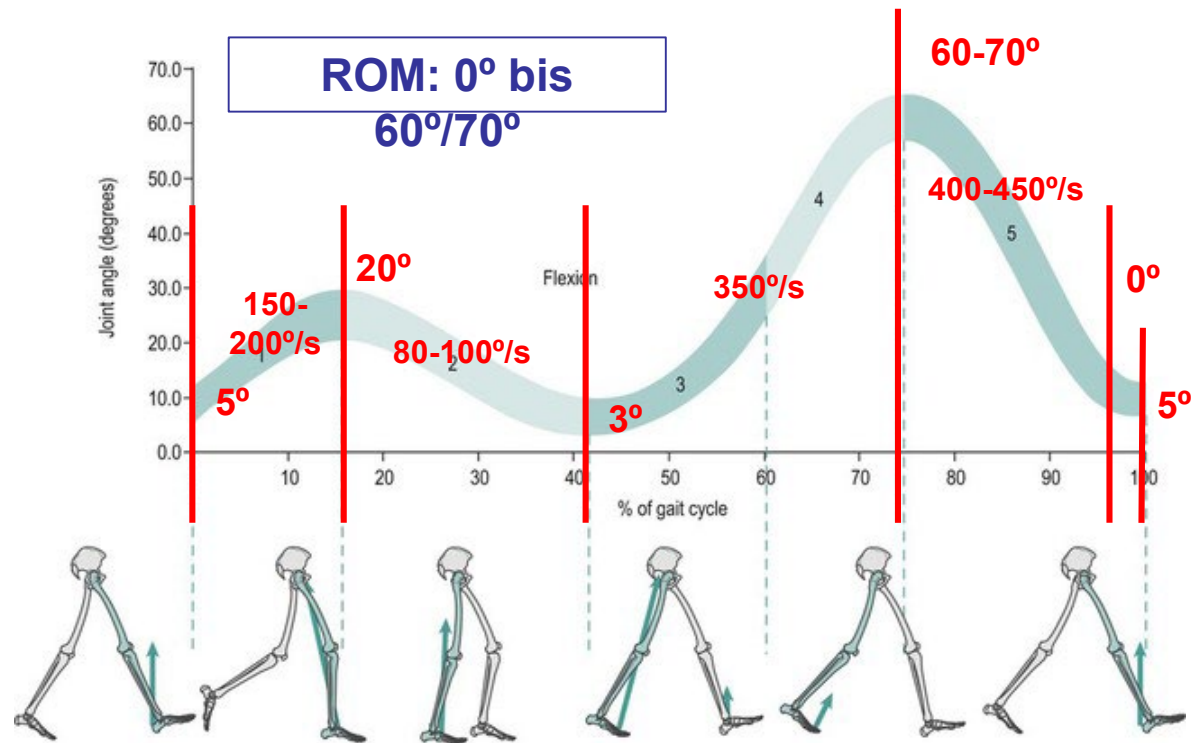


Abbildung 8 - Bewegung des Knies in der Sagittalebene durch den Gangzyklus. Bild aus Richards J. 2015

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Absolute und relative Analyse der Hüfte und des Beckens

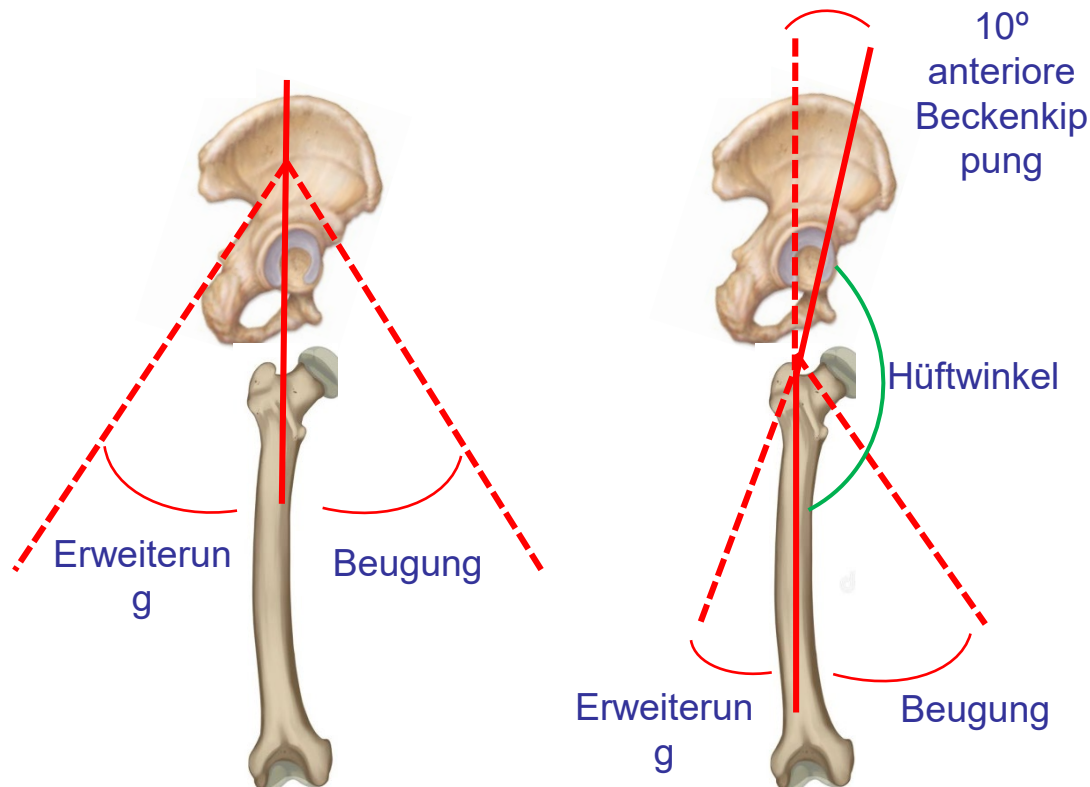


Abbildung 9 - Absolute (links) und relative (rechts) Bewegung des Oberschenkels.

- Relative Bewegung versus absolute Bewegung.
- Optische kinematische Analysensysteme ermöglichen die Erfassung der absoluten Position des Oberschenkels und des Beckens.
- Systeme auf Basis von Elektrogoniometern messen relative Positionen.

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik der Hüfte und des Oberschenkels

- Sagittale Ebene: Flexion-Extension.
- Differenzwerte aus Hüft- und Dingbewegung.

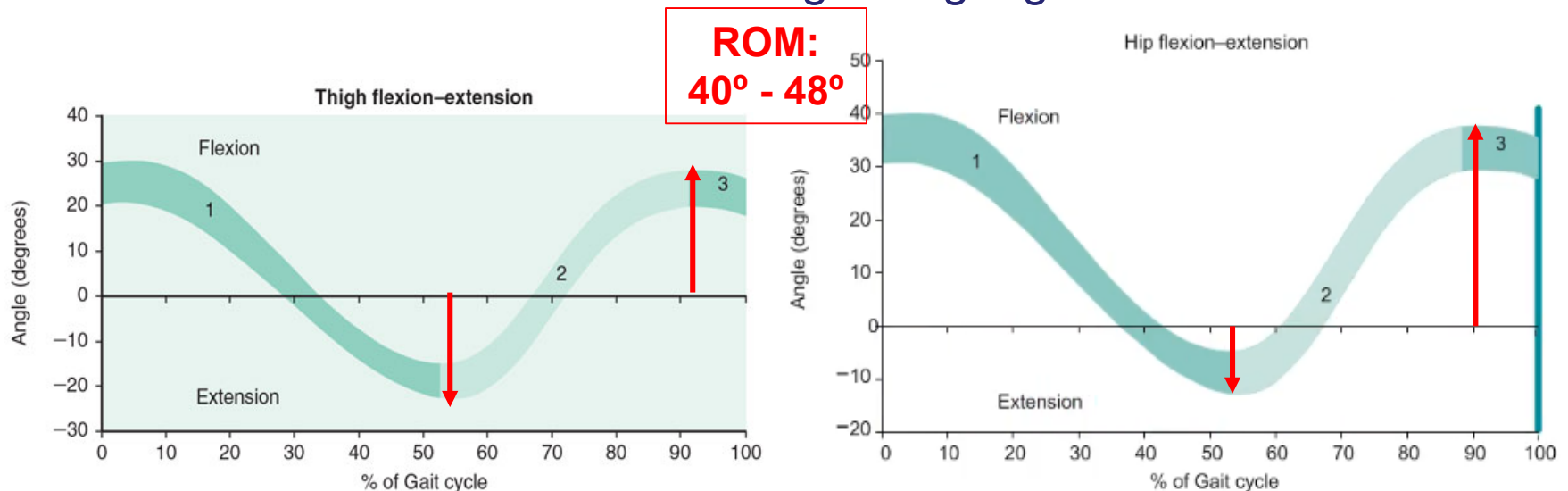


Abbildung 10 - Bewegung von Oberschenkel (links) und Hüfte (rechts) in der Sagittalebene durch den Gangzyklus. Bild aus Richards J. 2015

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik der Hüfte und des Oberschenkels

- Sagittale Ebene:
Flexion-Extension.
- Differenzwerte aus Hüft- und Kniebewegung.
- Vorschwung:
maximale Streckung (10° Hüfte, 20° Oberschenkel).
- Endschwung:
maximale Beugung (30° Hüfte, 25° Oberschenkel).

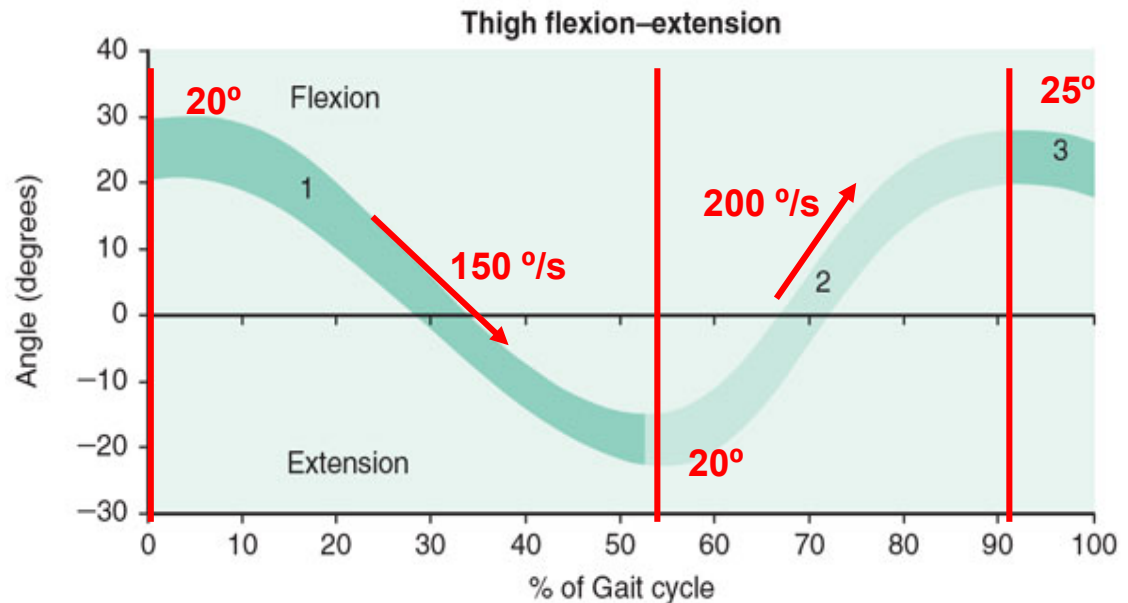


Abbildung 11 - Oberschenkelbewegung in der Sagittalebene durch den Gangzyklus. Bild aus Richards J. 2015

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik der Hüfte und des Oberschenkels

- Frontale Ebene: Adduktion und Abduktion.
- Erstkontakt: neutrale Position.
- Belastungsverhalten: maximale Adduktion.
- Vorschwingen: neutrale Position.
- Anfangsschwung: maximale Abduktion.
- Mittel- und Endausschlag: Neutralstellung.

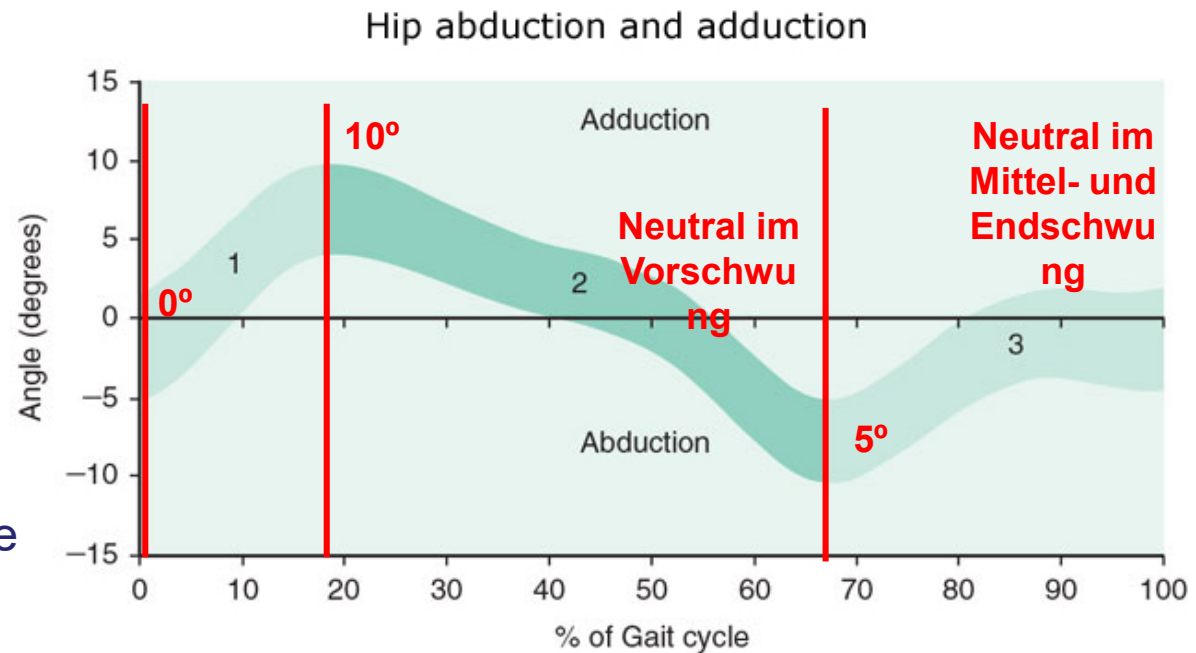


Abbildung 11 - Hüftbewegung in der Frontalebene durch den Gangzyklus. Bild aus Richards J. 2015

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik der Hüfte und des Oberschenkels

- Transversalebene: Innen- und Außenrotation.
- Belastungsreaktion: maximale Innenrotation des Oberschenkels.
- Anfangsschwung: maximale Außenrotation des Oberschenkels.
- Gesamt-ROM des Oberschenkels: 8°.
- Gesamt-ROM mit zusätzlicher Beckenbewegung: 15°.

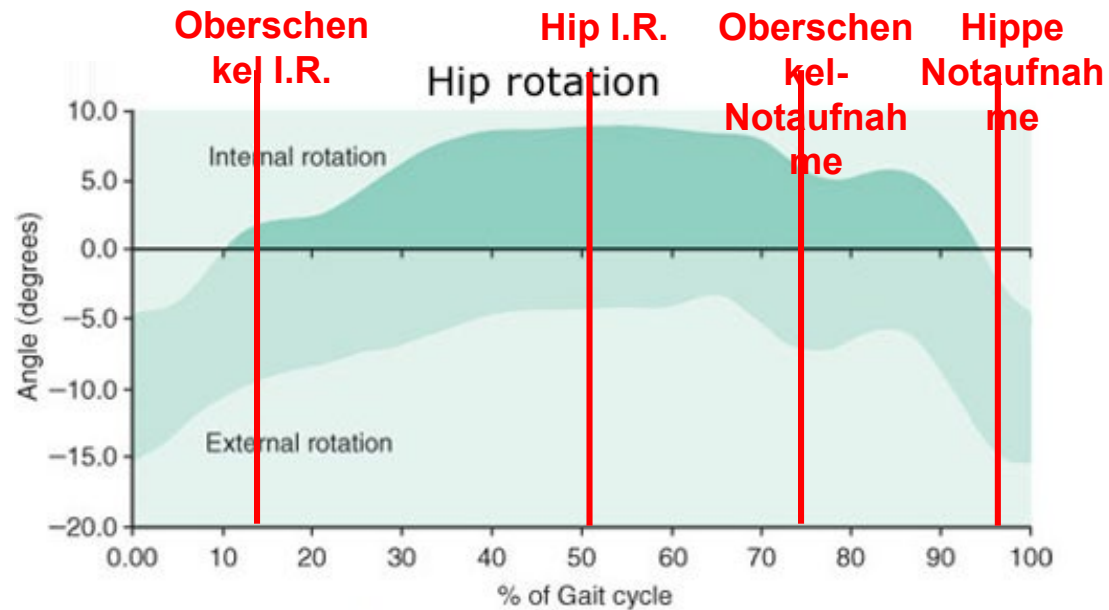


Abbildung 12 - Hüftbewegung in der Transversalebene durch den Gangzyklus. Bild aus Richards J. 2015

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik des Beckens

- Das Becken bewegt sich bei jedem Schritt asynchron in alle 3 Richtungen.
- Alle Bewegungen sind klein und stellen ein Kontinuum der Haltungsänderung dar.

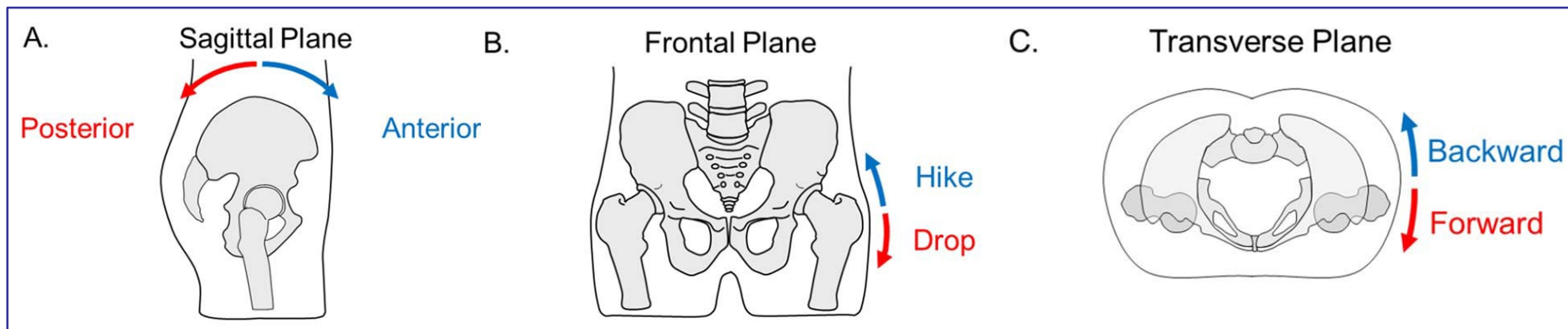


Abbildung 13 - Beckenbewegung in den drei Ebenen des Raums. Bild aus Lewis C. et al. 2017

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik des Beckens

- Sagittalebene: anteriore und posteriore Neigung.
- Beim Gehen wird die anatomische Neigung des Beckens um 4° erhöht.
- Posterior Tilt: Einbeinige Unterstützung in der Mitte des Standes und während des ersten Schwungs.
- Anterior Tilt: Terminal Stance und Terminal Swing.
- ROM: 3° bis 5° .

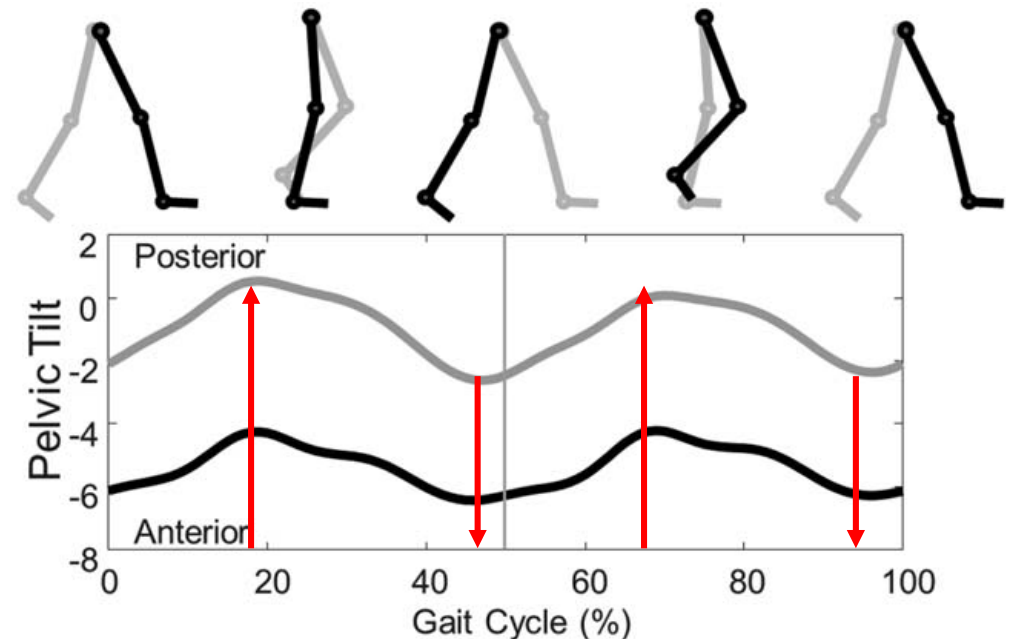


Abbildung 14 - Beckenbewegung in der Sagittalebene während des Gangzyklus. Die schwarze Linie bezieht sich auf die weibliche Leistung und die graue auf die männliche.

Bild aus Lewis C. et al. 2017.

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik des Beckens

- Frontalebene: Fallen (nach unten) und Wandern (nach oben) des Beckens.
- Gewichtsübernahme: ipsilaterales Becken nach oben.
- Vorschwung: ipsilaterales Becken fällt um 4° .
- ROM: 6° bis 10° .

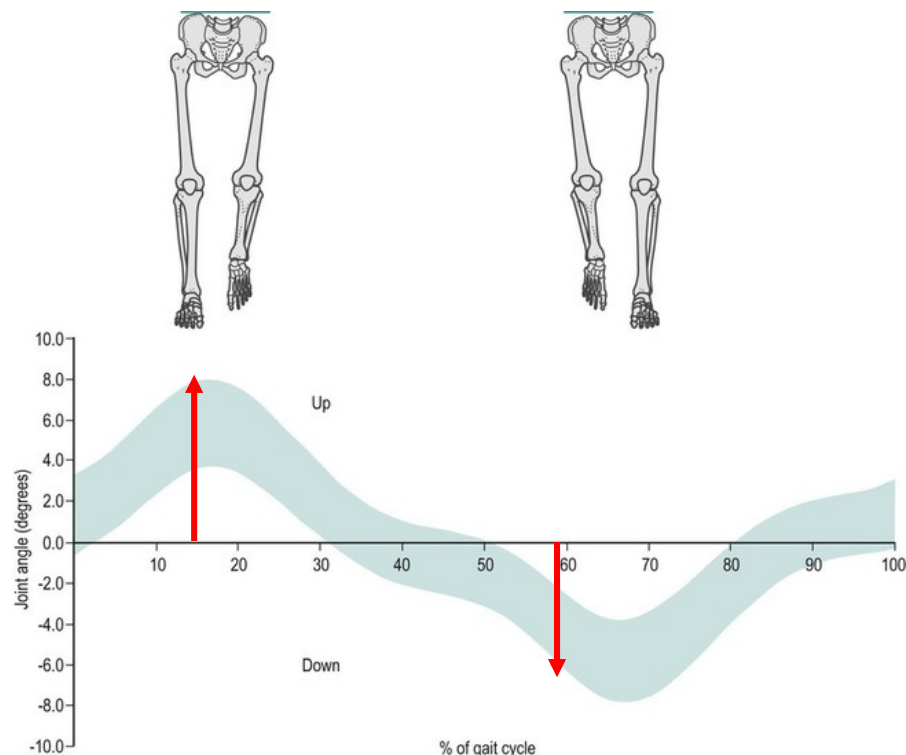


Abbildung 15 - Bewegung des Beckens in der Frontalebene durch den Gangzyklus. Bild aus Richards J. 2015

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Kinematik des Beckens

- Transversalebene: Vorwärts- und Rückwärtsrotation des Beckens.
- Endschwungung + Anfangskontakt des nächsten Zyklus: maximale Vorwärtsdrehung.
- Endstellung: maximale Rückwärtsdrehung.
- ROM: 10°.

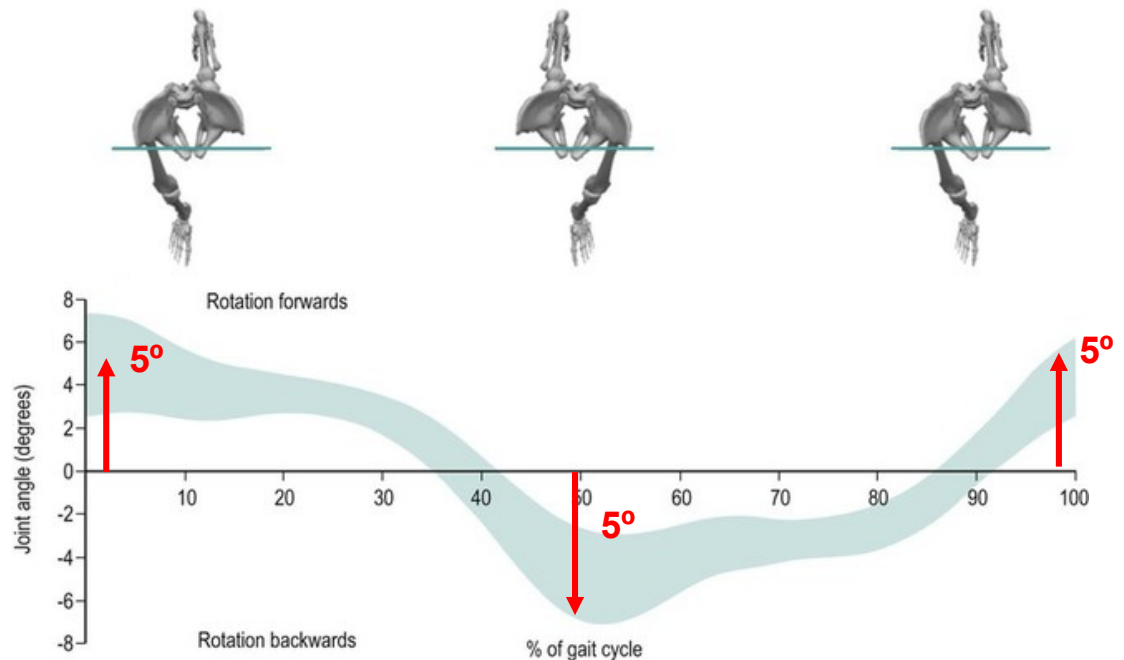


Abbildung 16 - Bewegung des Beckens in der Transversalebene durch den Gangzyklus. Bild aus Richards J. 2015

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Alters- und Geschlechtsunterschiede beim normalen Gangbild

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

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

Dabei ist F = die dimensionslose Geschwindigkeit oder Froude-Geschwindigkeit, v = Geschwindigkeit, g = Schwerkraft und l = Schenkellänge.

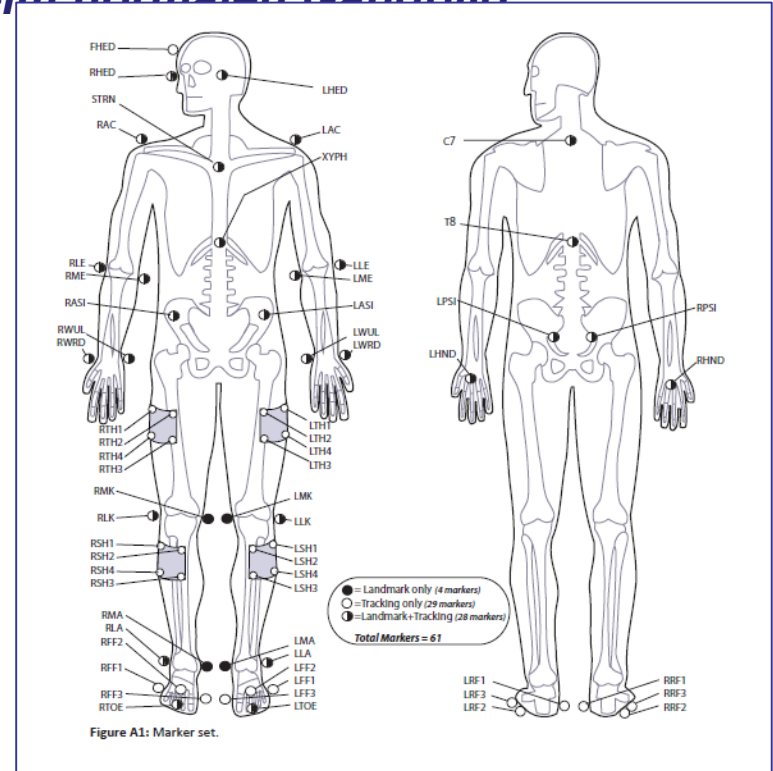


Abbildung 17 - Marktset aus der Studie von Bruening D. et al. 2020

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Alters- und Geschlechtsunterschiede beim normalen Gangbild

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

Andere Autoren: Frauen gehen mit mehr Knieextension und haben eine größere maximale Hüftadduktion und Innenrotation als Männer.

- Geschlechtsunterschiede beim ROM des Knöchels (Plantar-Dorsal-Flexion) und des Beckens (Rotation und Schiefstand).

	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*

		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

Abbildung 18 - Kinematik-Ergebnisse (rechts) und Statistik-Analyse (links) von weiblichen und männlichen Vergleichsteilnehmern und über drei nicht-dimensionale Ganggeschwindigkeiten. Ergebnisse aus Bruening D. et al. 2020.

IV. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Alters- und Geschlechtsunterschiede beim normalen Gangbild

GAIT PARAMETERS OF HEALTHY, ELDERLY PEOPLE

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

- Ältere Menschen zeigen eine Reduktion der Bewegung an Knöchel und Knie, aber eine Zunahme der Rotation und des Schiefstandes des Beckens.

Abbildung 19 - Kinematische Leistung von weiblichen und männlichen Teilnehmern in verschiedenen Altersstufen (ältere und jüngere) während des Gangzyklus.
Ergebnisse aus 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 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

V. Kinetische Beurteilung des normalen Gangs

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

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

- Gerät zur Messung kinetischer Parameter

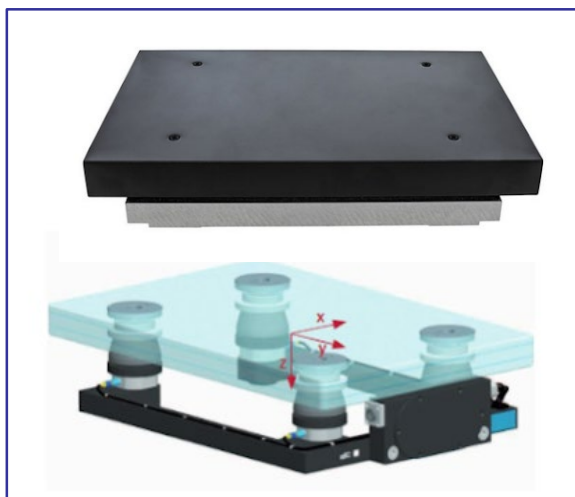


Abbildung 1 - Dehnungsmessstreifen (oben) und piezoelektrische Sensoren (unten) Kraftplattformen zur Messung der Bodenreaktionskräfte.

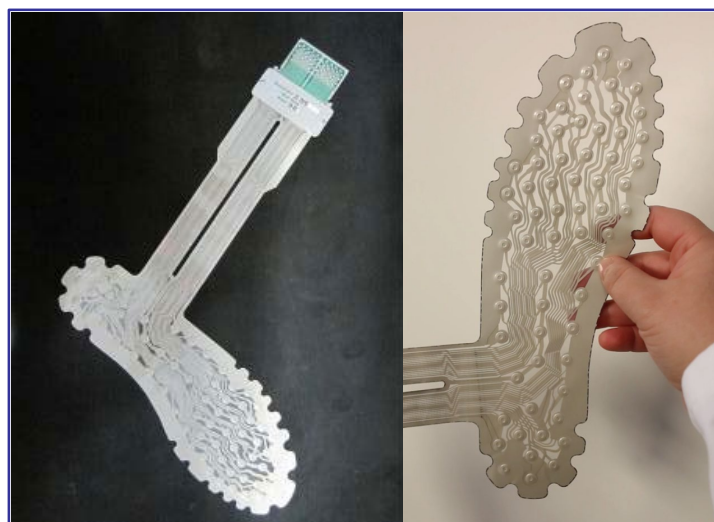


Abbildung 2 - Instrumentierte Einlegesohle aus dem Biofoot/IBV-System zur Plantardruckmessung.

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Bodenreaktionskraft

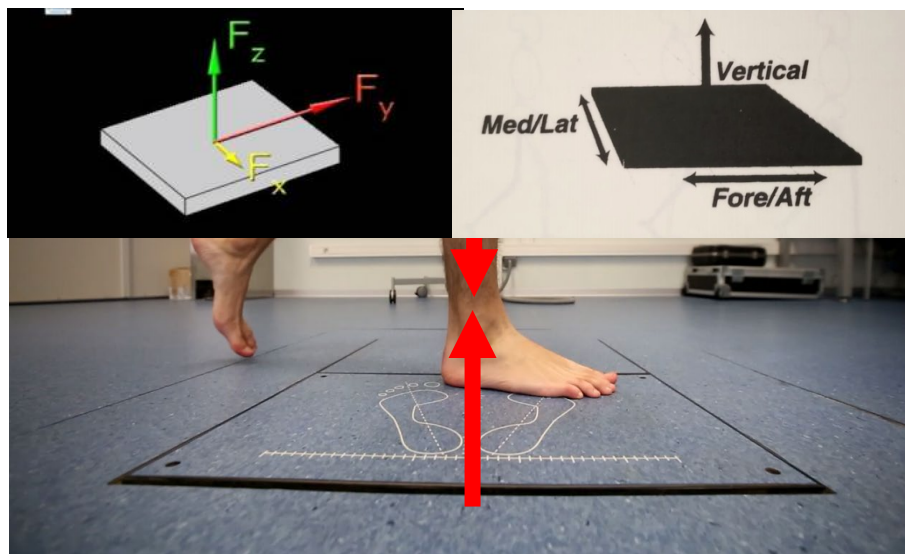


Abbildung 3 - Bodenreaktionskraft (GRF), die beim Auftreffen des Körpers auf den Boden während der Standphase des Gehzyklus entsteht.

Vertikale Kraftkomponente der GRF

Anterior-posteriore Komponente des GRF

Medio-laterale Komponente der GRF

Druckmittelpunkt beim Gehen

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Vertikale Kraftkomponente der GRF

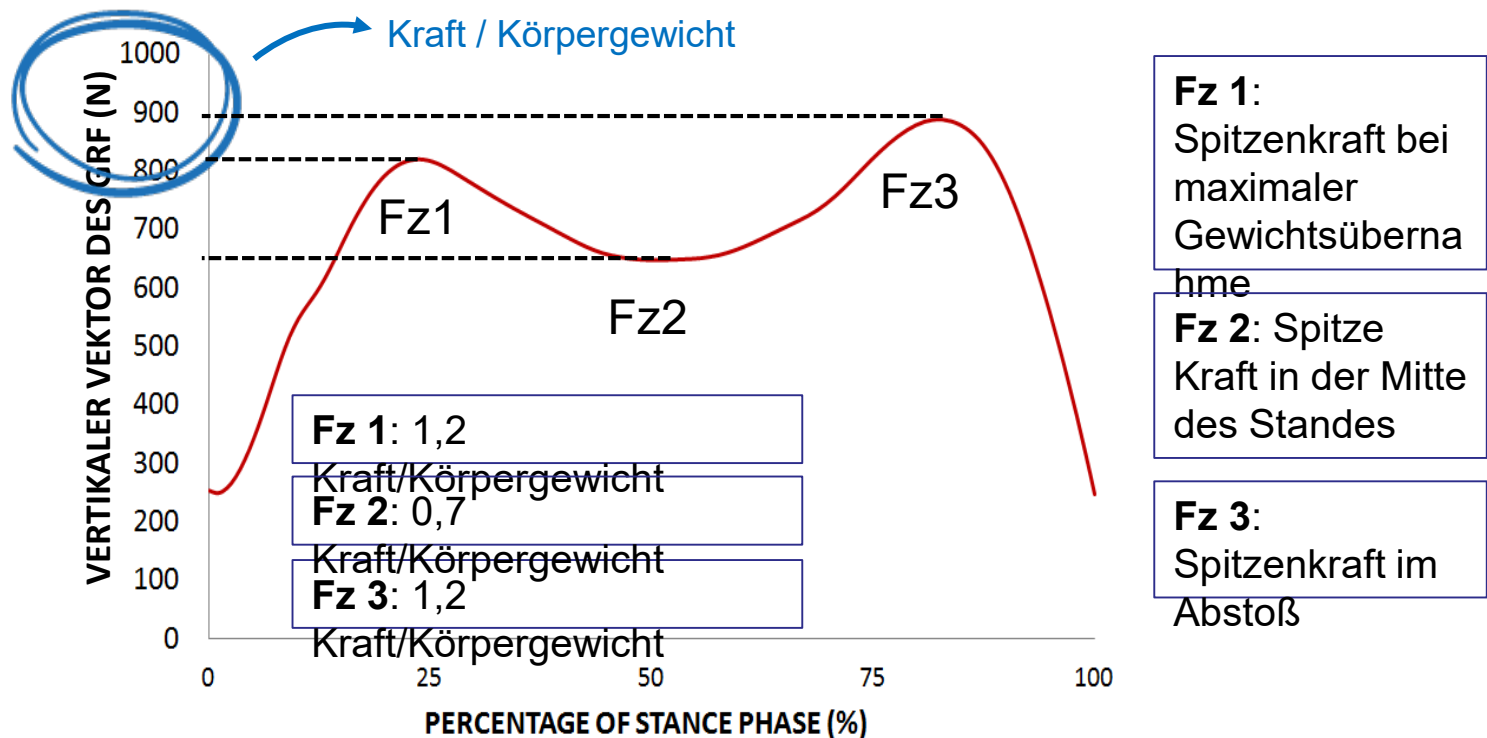


Abbildung 4 -Kraft in vertikaler Richtung während des normalen Gehens und Ergebnisse, die aus der Kraftgröße ermittelt wurden.

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Vertikale Kraftkomponente der GRF

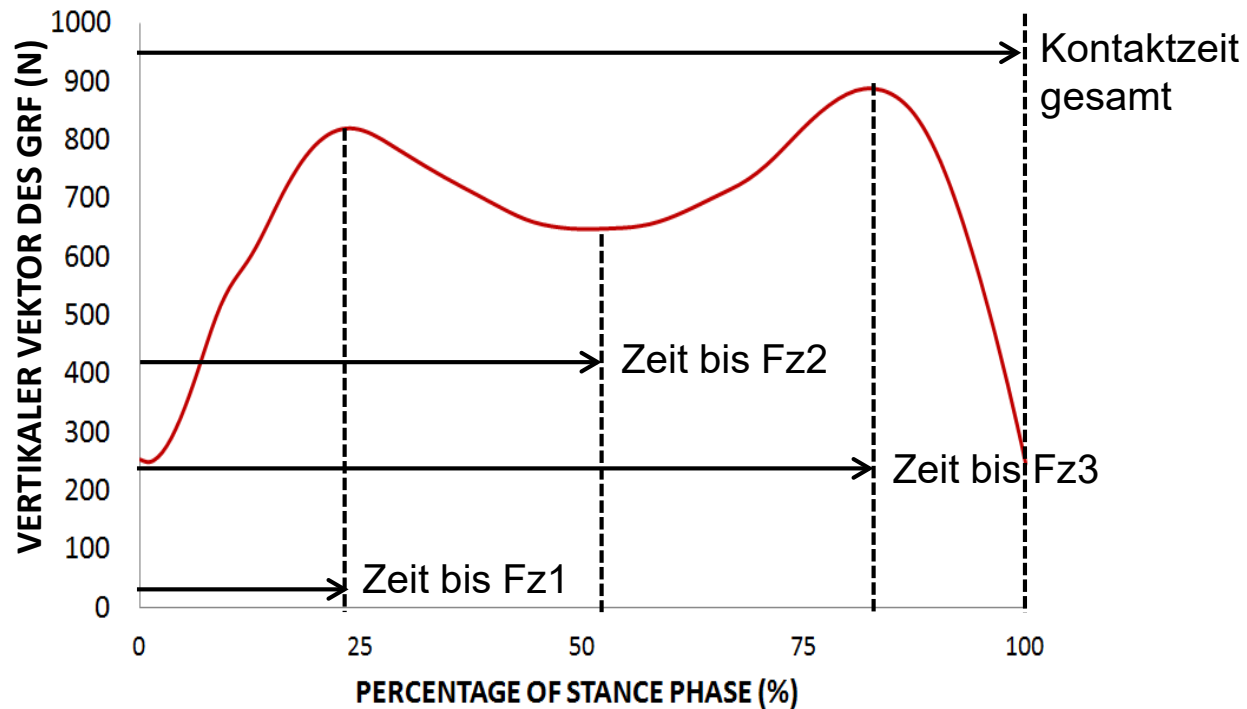
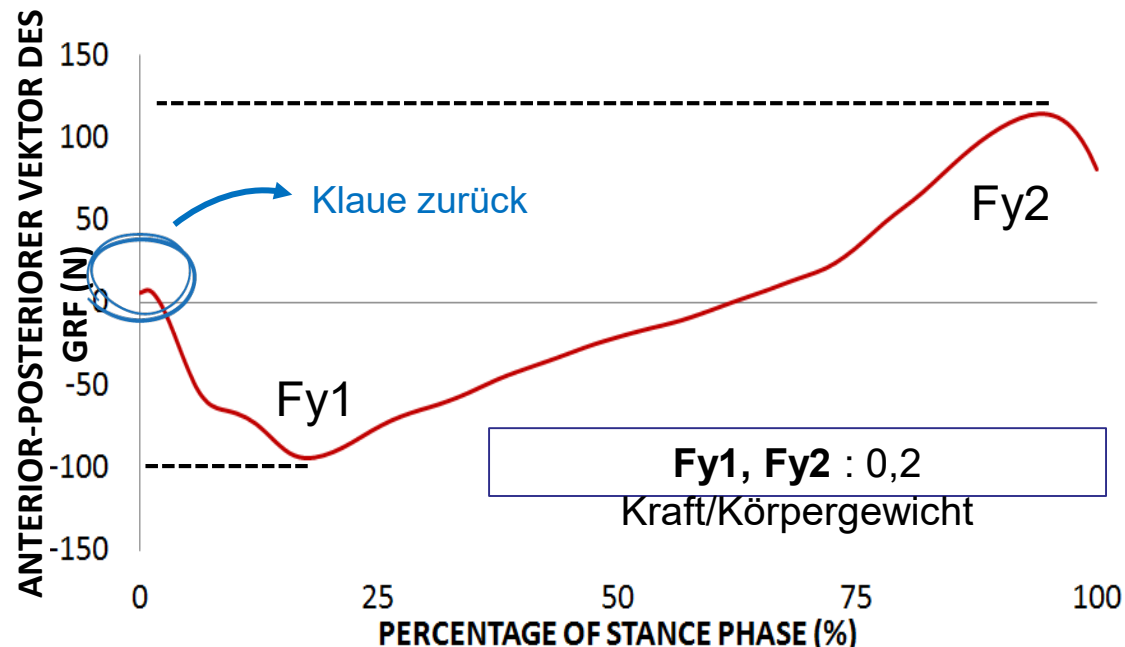


Abb. 5 -Kraft in vertikaler Richtung während des normalen Gehens und aus der Zeit gewonnene Ergebnisse.

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Anterior-posteriore Kraftkomponente der GRF



Fy 1: Maximale hintere Kraft. Entspricht dem Bruch.

Fy 2: Maximale anteriore Kraft. Entspricht dem Fersenabgang.

Abb. 6 -Kraft in anterior-posteriorer Richtung während des normalen Gehens und aus der Kraftgröße ermittelte Ergebnisse.

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Anterior-posteriore Kraftkomponente der GRF

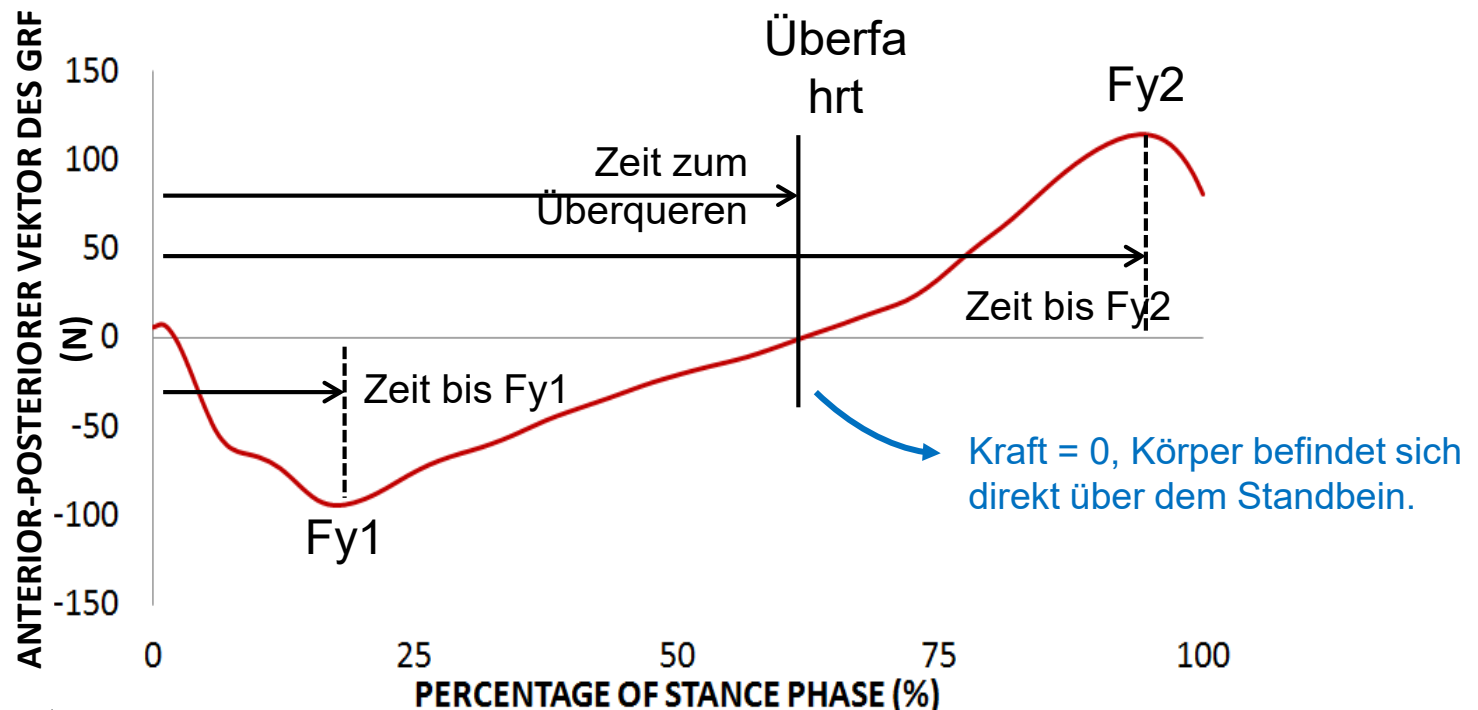


Abbildung 7 -Kraft in anterior-posteriorer Richtung während des normalen Gehens und aus der Kraftzeit gewonnene Ergebnisse.

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Anterior-posteriore Kraftkomponente der GRF

Der Impuls einer Kraft oder einfach **Impuls (I)** ist eine vektorielle Größe, die die Kraft mit der Zeit in Beziehung setzt, die ihre Wirkung andauert.

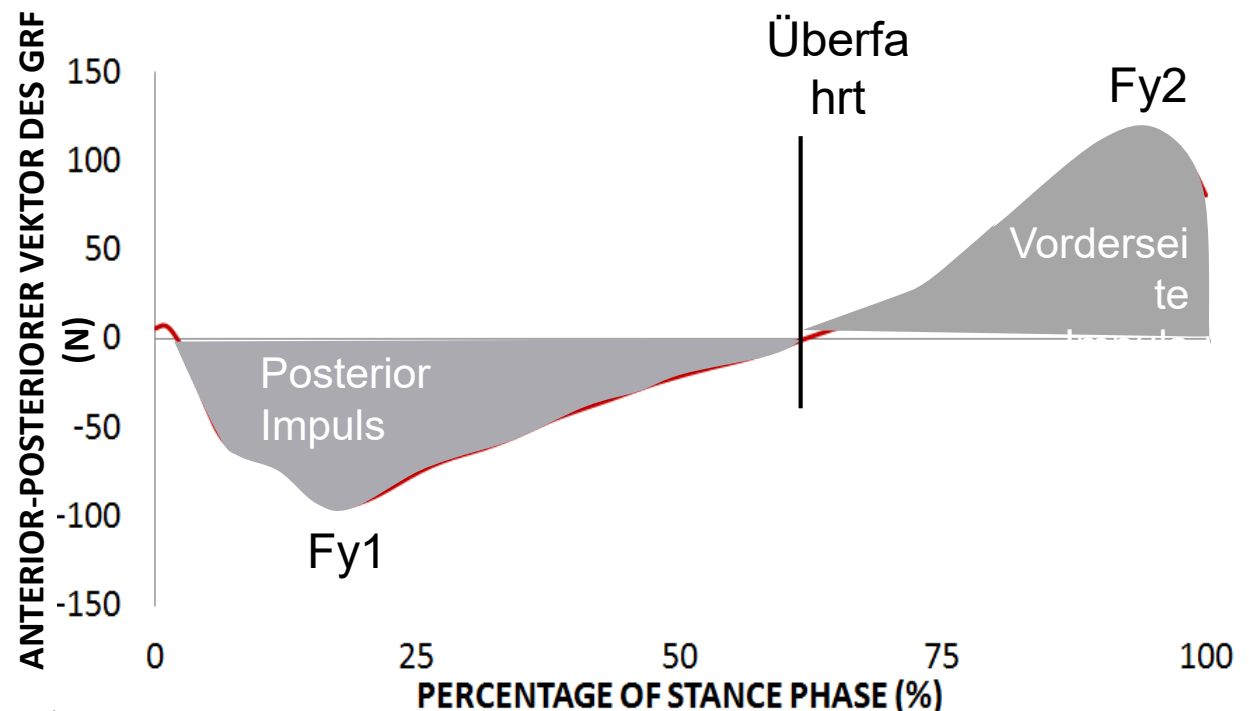


Abbildung 8 -Kraft in anterior-posteriorer Richtung während des normalen Gehens und Ergebnisse, die aus dem Kurvenbereich gewonnen wurden.

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Medio-laterale Kraftkomponente der GRF

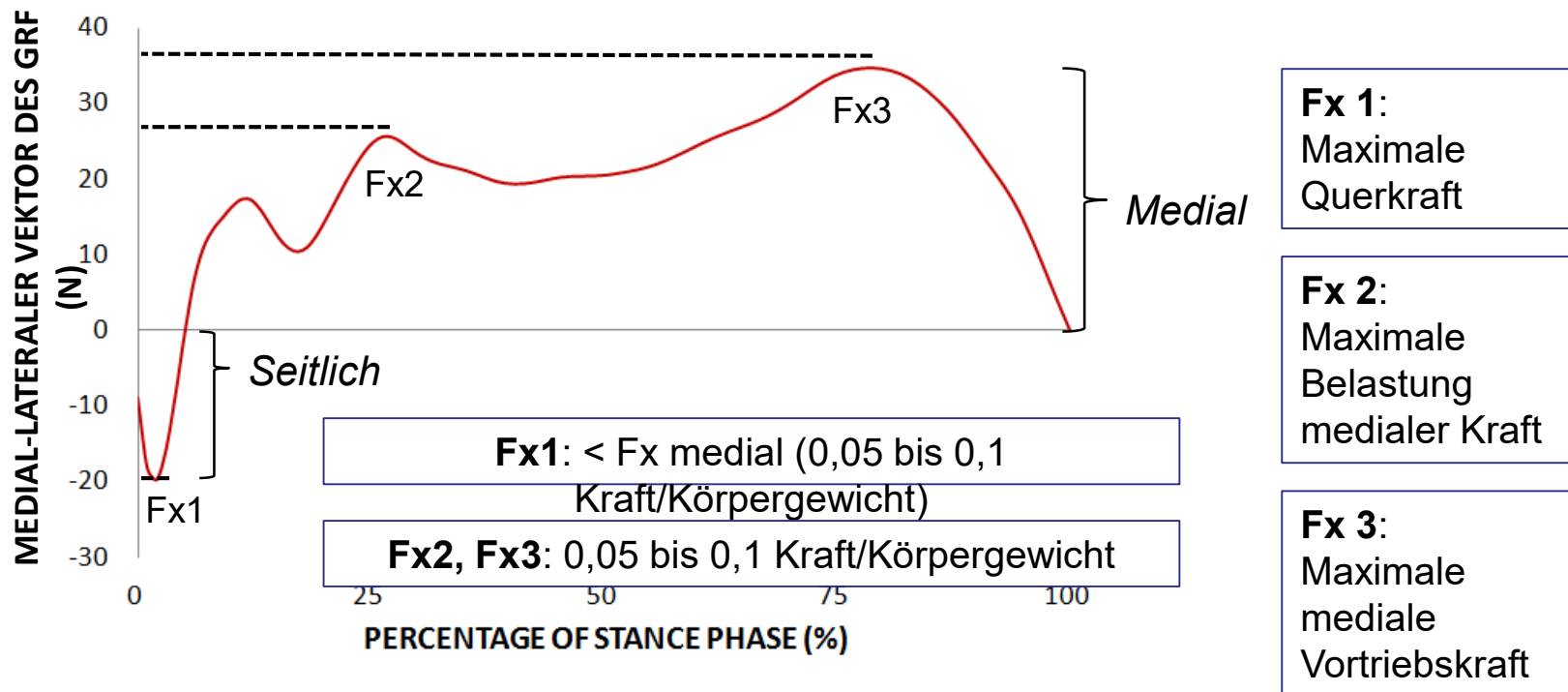


Abbildung 9 -Kraft in medio-lateraler Richtung während des normalen Gehens und aus der Kraftgröße ermittelte Ergebnisse.

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Bewegung des Druckzentrums

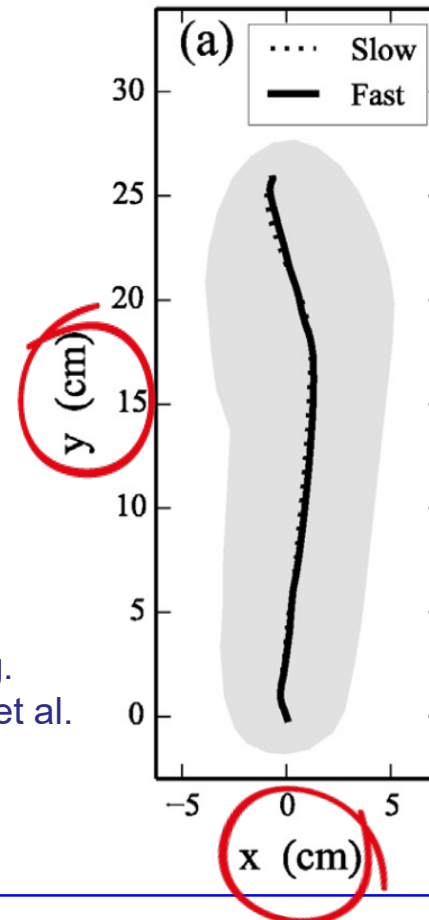
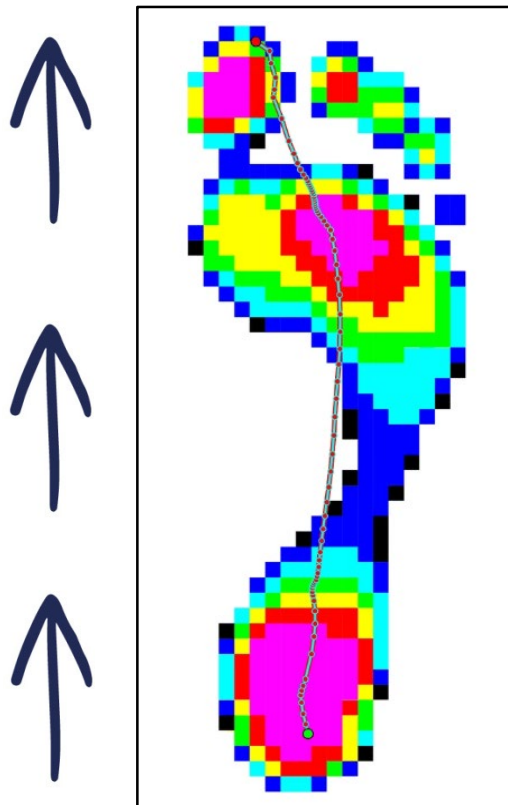


Abbildung 11 - Bewegung des Druckzentrums während des Gangs bei langsamer (gestrichelte Linie) und schneller Geschwindigkeit (durchgezogene Linie). Aus Todd C. Pataky et al. 2014.

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Bewegung des Druckzentrums

Welche Ergebnisse können wir von der Auslenkung des Druckmittelpunkts analysieren?

Index der Druckauslenkung im Zentrum

Auslenkung des COP von einer konstruierten Linie, die den ersten und den letzten Punkt der COP-Kurve verbindet, gemessen im distalen Drittel des Fußes und normiert auf die Fußbreite.

Geschwindigkeit des Druckmittelpunkts

Resultierende Auslenkung des COP geteilt durch die verstrichene Zeit zwischen den Messungen.

Teile aus der Stehphase
Abschnitte des Fußes (Rück-, Mittel-, Vorfuß)
In X- oder Y-Achse.

V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Bewegung des Druckzentrums

Index der Druckauslenkung im Zentrum

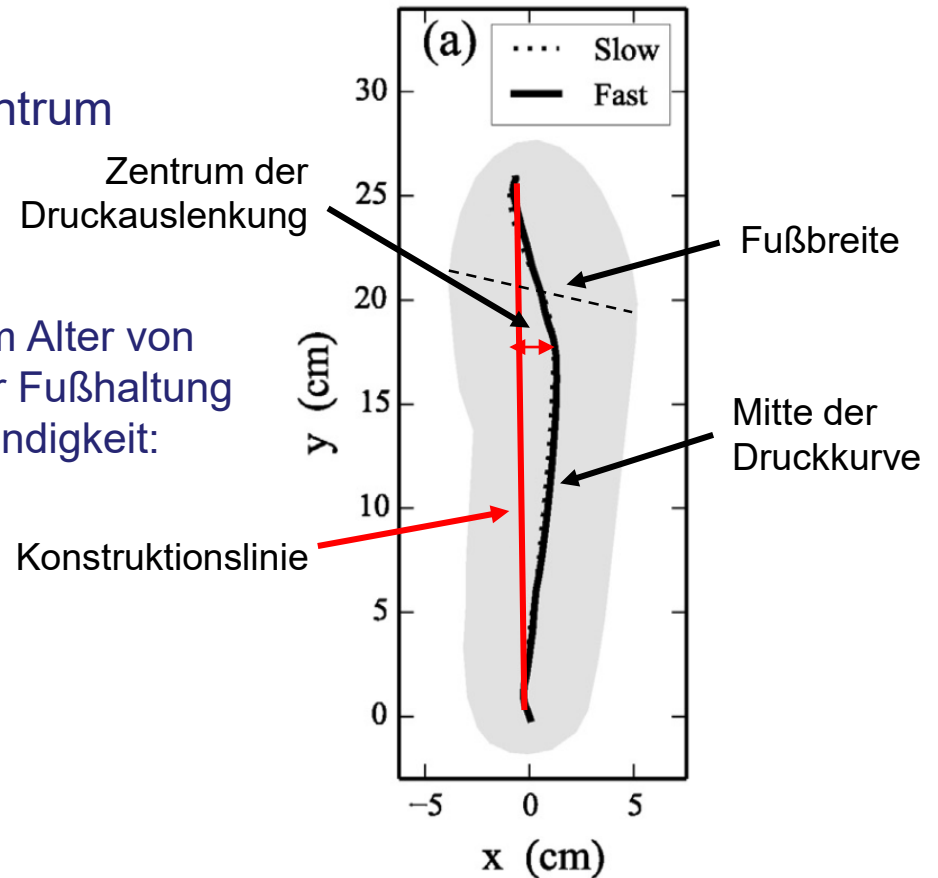
$$CPEI = \frac{\text{Center of pressure excursion}}{\text{Foot Width}} \times 100 \%$$

Werte von 92 gesunden Probanden (im Alter von 18 bis 45 Jahren) mit unterschiedlicher Fußhaltung beim Gehen mit angenehmer Geschwindigkeit:

CPEI in normal: 20,4 (6,5)

CPEI bei Fuß *planus*: 18,4 (4,5)

CPEI im Fuß *cavus*: 20,2 (5,8)



V. KINETISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Bewegung des Druckzentrums

Zentrum der Druckgeschwindigkeit

Bo Li et al.	AP-Geschwindigkeit (m/s)	ML-Geschwindigkeit (m/s)	Buldt et al.	AP-Geschwindigkeit (m/s)	Fuchioka et al.	AP-Geschwindigkeit (cm/s)	Mittelwert in m/s
Erstkontakt	0.426 (0.157)	0.106 (0.057)	Ladeverhalten	0.405 (0.084)	Hinterer Fuß	26.9 ± 8.8	0.26
Vorfußkontakt	0.723 (0.405)	0.090 (0.058)	Mittelstellung	0.435 (0.061)	Mittelfuß	83.0 ± 33.1	0.83
Fußflachphase	0.292 (0.087)	0.028 (0.010)	Endstellung	0.177 (0.069)	Vorfuß	20.9 ± 5.3	0.20
Vorfußabsatz	0.277 (0.050)	0.117 (0.029)	Vorschwingen	0.453 (0.098)			

Abbildung 12 - Mittelwert der Druckgeschwindigkeit (m/s) (SD) von gesunden Probanden mit normaler Fußhaltung der Studien von Bo Li et al. 2020, Buldt et al. 2018 und Fuchioka et al. 2015 in der antero-posterioren und medio-lateralen Achse.

D.2 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

VI. Bewertung des Plantardrucks während des normalen Gangs

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that spans across the width of the text above it.

VI. PLANTARER DRUCK BEIM NORMALEN GANG

Plantarer Druck

- Einheit zur Druckinformation: kPa
- 10 kPa = 10 kN/m²

Bei normalen Personen beträgt der typische Spitzendruck unter dem Fuß 80-100 kPa im Stehen und 200-250 kPa beim Gehen.

Der Bereich um das zweite und dritte Mittelfußköpfchen erfährt beim gesunden Erwachsenen den höchsten Maximaldruck des Fußes beim Gehen.

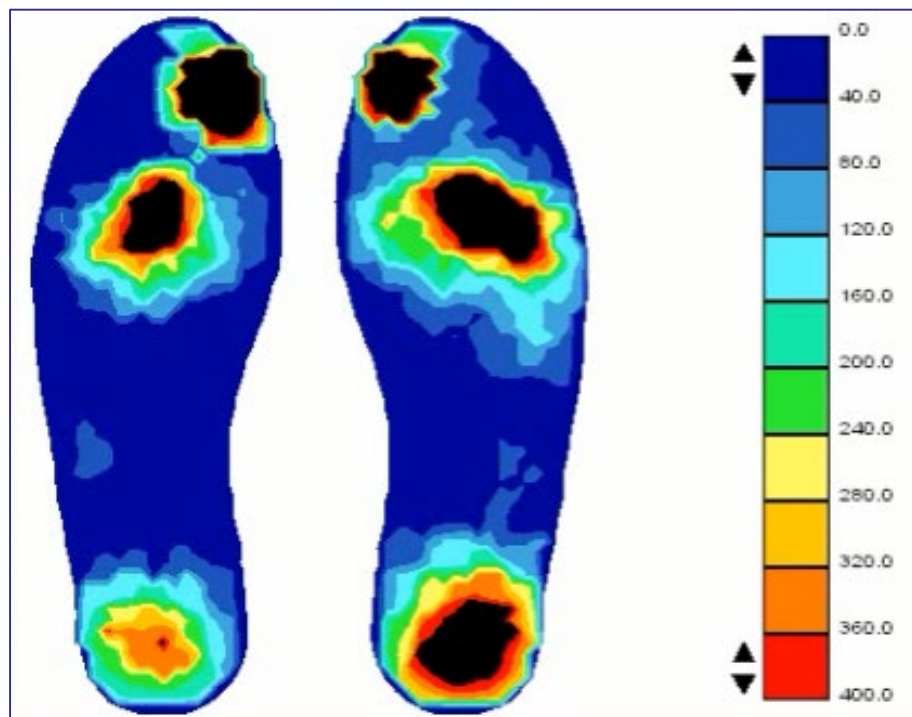


Abbildung 13 - Farbskala-Karte aus einer Plantardruckbeurteilung mit Biofoot/IBV-Geräten.

VI. PLANTARER DRUCK BEIM NORMALEN GANG

Plantarer Druck

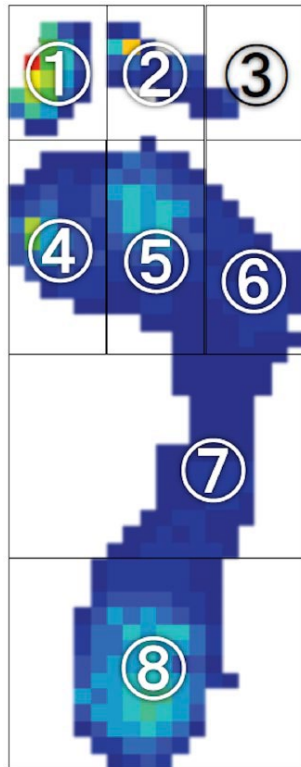


Abbildung 14 - Beispiel für die Analyse nach Regionen des Fußes. (1) die große Zehe; (2) die zweite und dritte Zehe; (3) die vierte und fünfte Zehe; (4) der mediale Vorfuß; (5) der mittlere Vorfuß; (6) der laterale Vorfuß; (7) der Mittelfuß; und (8) der Rückfuß. Bild aus Tsujinaka S. et al. 2019.

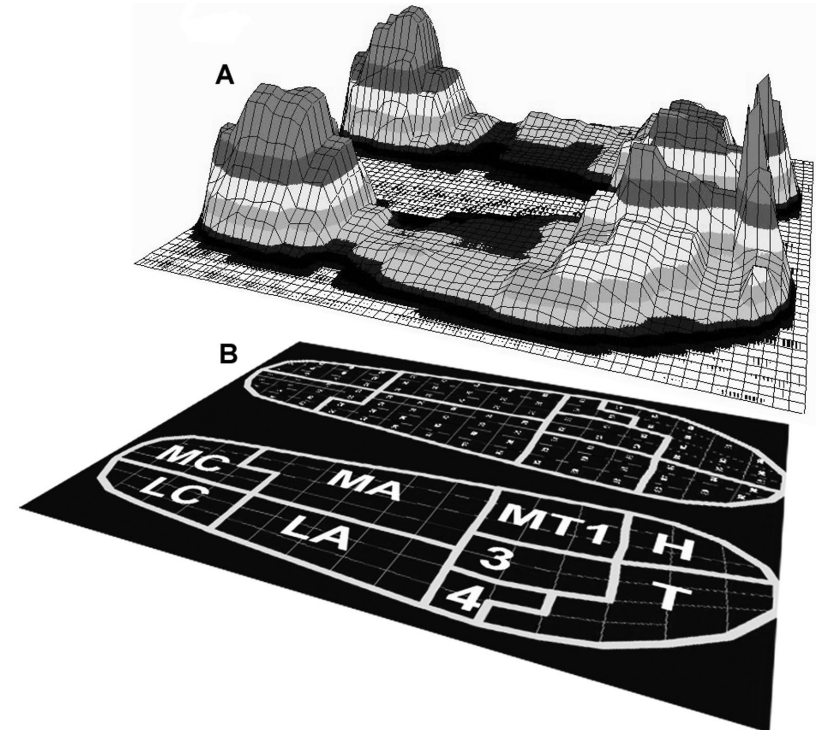
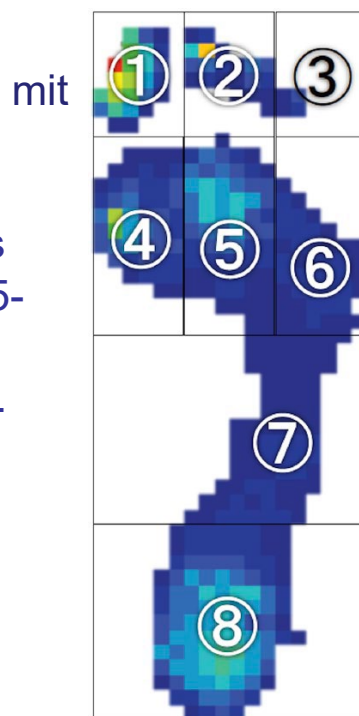


Abbildung 15 - Beispiel für die Analyse nach Regionen des Fußes. MC = medialer Calcaneus, LC = lateraler Calcaneus, MA = mediales Fußgewölbe, LA = laterales Fußgewölbe, MT1 = erste Metatars, 3 = zweite und dritte Metatars, 4 = vierte und fünfte Metatars, H = Hallux und T = Zehen. Bild aus Hessert M. et al. 2005.

VI. PLANTARER DRUCK BEIM NORMALEN GANG

Plantarer Druck

- Messgeräte: Einlegesohlen Drucksensoren.
- Die Teilnehmer liefen eine Strecke von 4 bis 5,5 m während einer 5-sekündigen Aufzeichnung (50 Hz).
- Normale Gehgeschwindigkeit.



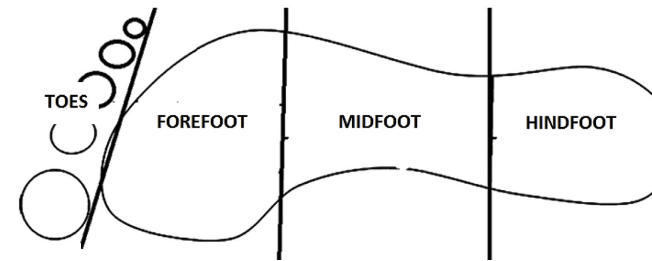
Spitzendruck (kPa) (n = 24. Altersdurchschnitt 52,4 ± 11,8)	
1. Große Zehe	311.7 (236.3)
2. 2° und 3° Zehen	186.9 (91.0)
3. 4° und 5° Zehen	141.6 (94.4)
4. Medialer Vorfuß	304.5 (227.0)
5. Zentraler Vorfuß	590.9 (357.1)
6. Seitlicher Vorfuß	215.0 (161.6)
7. Mittelfuß	128.5 (69.1)
8. Rückfuß	296.1 (155.1)

Abbildung 16 - Plantare Druckspitze von normal gehenden Probanden der Studie von Tsujinaka et al. 2019.

VI. PLANTARER DRUCK BEIM NORMALEN GANG

Plantarer Druck

- Messgeräte: instrumentierte Plattform.
- Die Daten wurden barfuß in der Mitte des Ganges bei selbst gewählter Ganggeschwindigkeit erhoben.



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

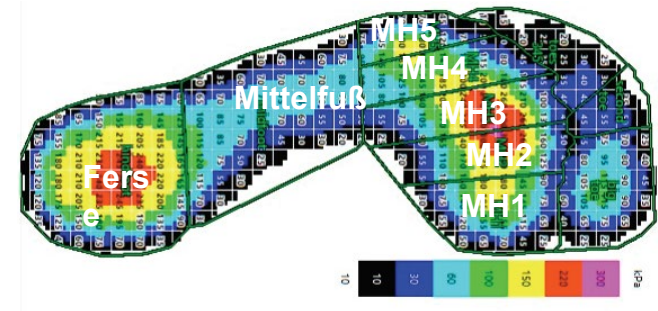
Age (Year)	11		12		13		14		
	F (n = 64)	M (n = 41)	F (n = 62)	M (n = 99)	F (n = 25)	M (n = 78)	F (n = 60)	M (n = 95)	
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
Peak	Total	316.68 ± 94.66*	282.87 ± 66.36	333.70 ± 92.05	311.51 ± 67.96	305.80 ± 56.60	318.1 ± 72.2	374.08 ± 113.93*	338.61 ± 85.85
pressure (kPal)	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

Abbildung 17 - Plantarer Spitzendruck (SD) aus Demirbüken I. et al. 2019.

VI. PLANTARER DRUCK BEIM NORMALEN GANG

Plantarer Druck

- Messgeräte: instrumentierte Plattform.
- Die Plantardrücke wurden während des Barfußlaufens bei natürlich gewählter Ganggeschwindigkeit aufgezeichnet.



		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

Abbildung 18 - Mittlerer Plantardruck (SD) aus Gimunova M. et al. 2018. n = 61 gesunde ältere Menschen (21 Männer, 40 Frauen).

VI. PLANTARER DRUCK BEIM NORMALEN GANG

Plantarer Druck

- Messgeräte: instrumentierte Plattform.
- Gehen Sie mit angenehmer Geschwindigkeit.
- Gesunde Gruppen: Kinder, Jugendliche, Erwachsene und ältere Erwachsene.

	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)

Abbildung 19 - Maximaler mittlerer Druck und Plantar-Spitzendruck (SD) aus McKay M. et al. 2017. n = 1000 gesunde Personen im Alter von 3-101 Jahren. (21 Männer, 40 Frauen).

D.2 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

VII. Elektromyographische Beurteilung des normalen Gangs

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that spans across the width of the text above it.

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Instrument zur Messung der Muskelaktivität



Abbildung 1 - Oberflächen-Elektromyographie-System und Instrumentierung der unteren Extremität. Zur Festlegung des Instrumentierungsprotokolls sollte der SENIAM-Leitfaden verwendet werden, der die Lage der Elektroden in den verschiedenen Körpersegmenten standardisiert. (www.seniam.org).

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Elektromyographische Ergebnisse

AMPLITUDE

- Root mean square
- Rektifikation
- Umschlag

AKTIVIERUNGSZEITPUNKT

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Amplitude: Root Mean Square (RMS)

- 1) Jeder Datenpunkt des Signals wird quadriert
- 2) Es wird der Mittelwert über eine vorgegebene Fensterlänge ermittelt
- 3) Die Quadratwurzel aus diesem Wert wird dann berechnet

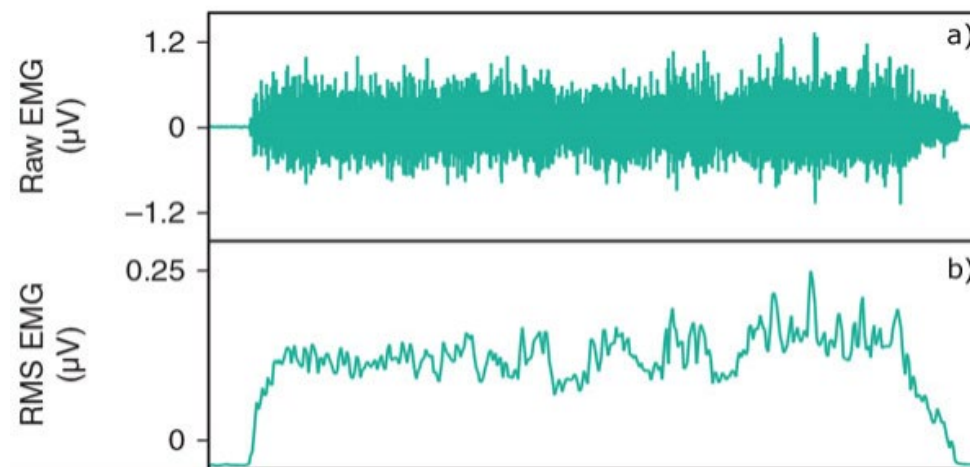


Abbildung 2 - a) Rohes EMG-Signal. b) Root Mean Square (RMS), berechnet mit einem gleitenden Fenster der Länge 0,25 ms. Bild aus Richards J. 2018.

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Amplitude und Normierung

- Methode 1: Maximale willentliche Kontraktion.
- Methode 2: Maximal beobachtetes EMG-Signal während der Aktivität.

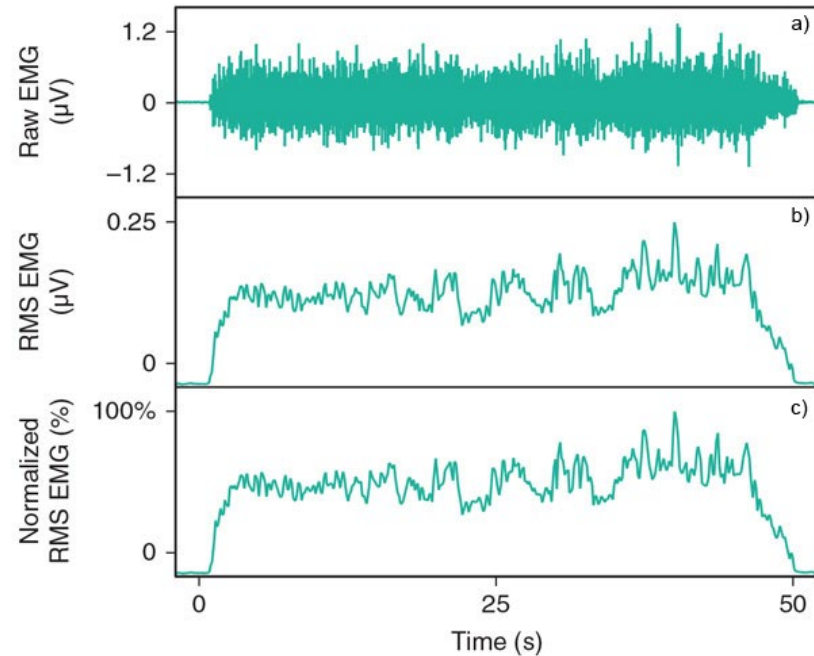


Abbildung 3 - a) Rohes EMG-Signal. b) Root Mean Square (RMS), berechnet mit einem gleitenden Fenster der Länge 0,25 ms. c) Normalisierter RMS des EMG-Signals. Bild aus Richards J. 2018.

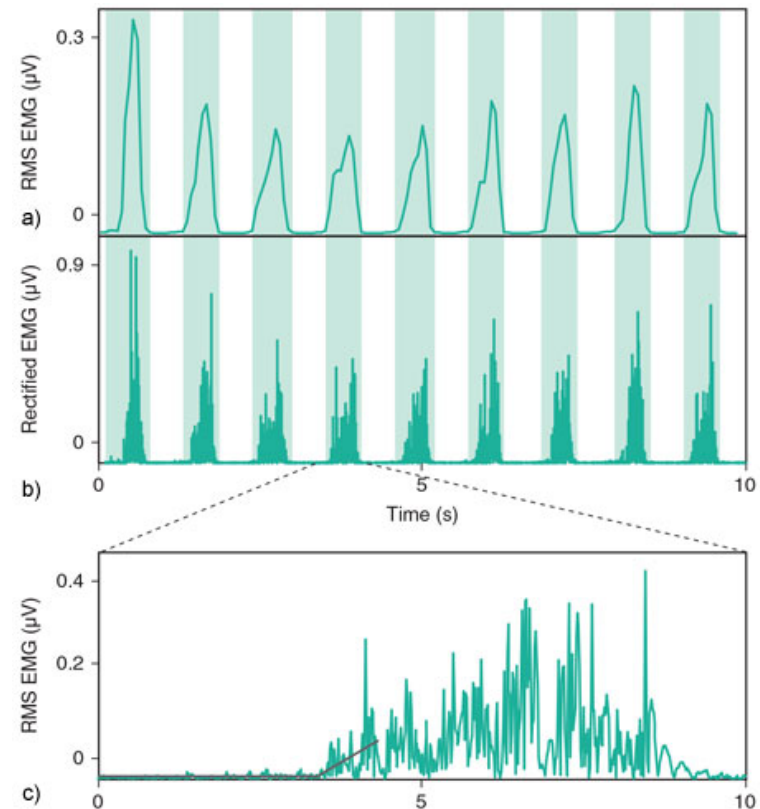
VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

EMG-Aktivierungszeitpunkt

Das Aktivierungs-Timing wird durchgeführt, indem der Zeitpunkt identifiziert wird, an dem die EMG-Amplitude über (Start) oder unter (Ende) einen vorbestimmten Grundlinienpegel steigt.

Das gleichgerichtete EMG oder das RMS-EMG werden für die Berechnung des Aktivierungszeitpunkts verwendet.

Abbildung 4 - a), b) Aktivierungszeitpunkte aus EMG RMS und gleichgerichtetem EMG-Signal des Gastrocnemius-Muskels beim Gehen. c) EMG RMS und überlagerte Regressionslinien. Bild aus Richards J. 2018.



VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Elektromyographisches Muster während des Gehens

Die Muskeln in den Standbeinen stützen den Körper (Haltungskontrolle) und treiben ihn vorwärts (Progression)

Muskelaktivität am Anfang und Ende der Schwungphase

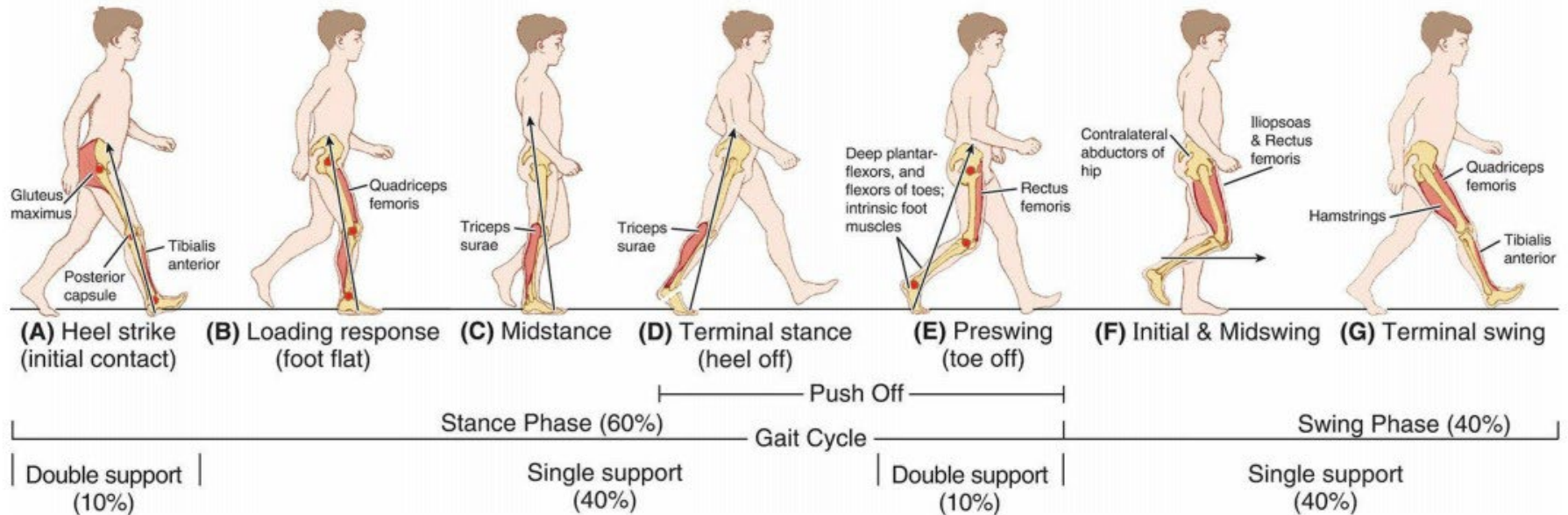


Abbildung 5 - EMG-Muster im Zusammenhang mit dem Gangzyklus eines Erwachsenen. Bild aus Shumway-Cook A. und Woollacott M. 2017

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Elektromyographisches Muster - Standphase

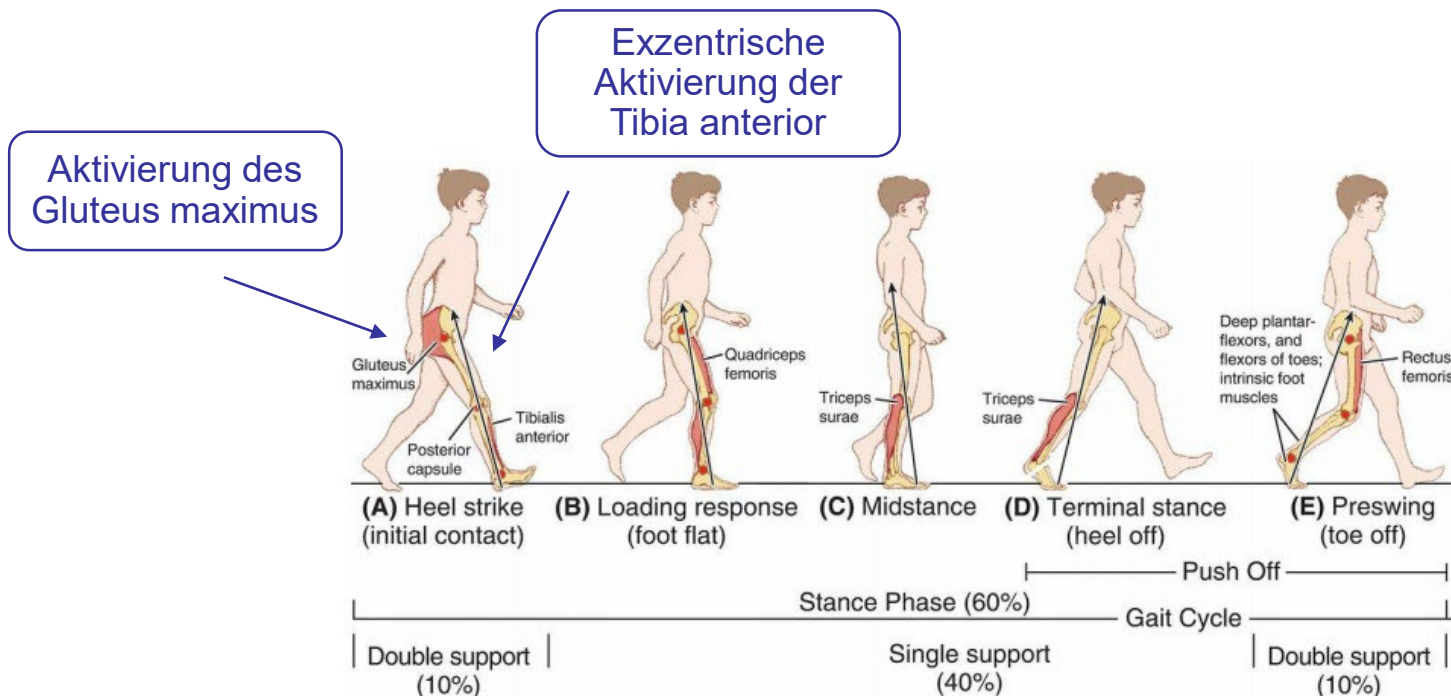


Abbildung 6 - EMG-Muster im Zusammenhang mit dem Gangzyklus eines Erwachsenen in der Standphase. Bild aus Shumway-Cook A. und Woollacott M. 2017

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Elektromyographisches Muster - Standphase

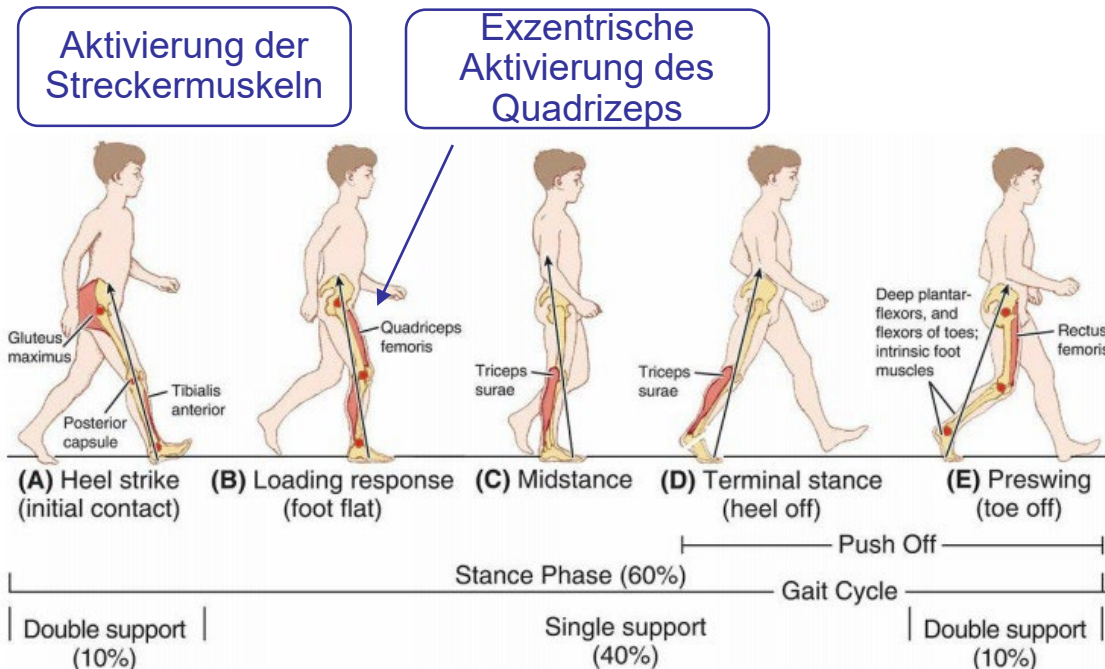


Abbildung 6 - EMG-Muster im Zusammenhang mit dem Gangzyklus eines Erwachsenen in der Standphase. Bild aus Shumway-Cook A. und Woollacott M. 2017

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Elektromyographisches Muster - Standphase

Aktivierung nur des Triceps surae

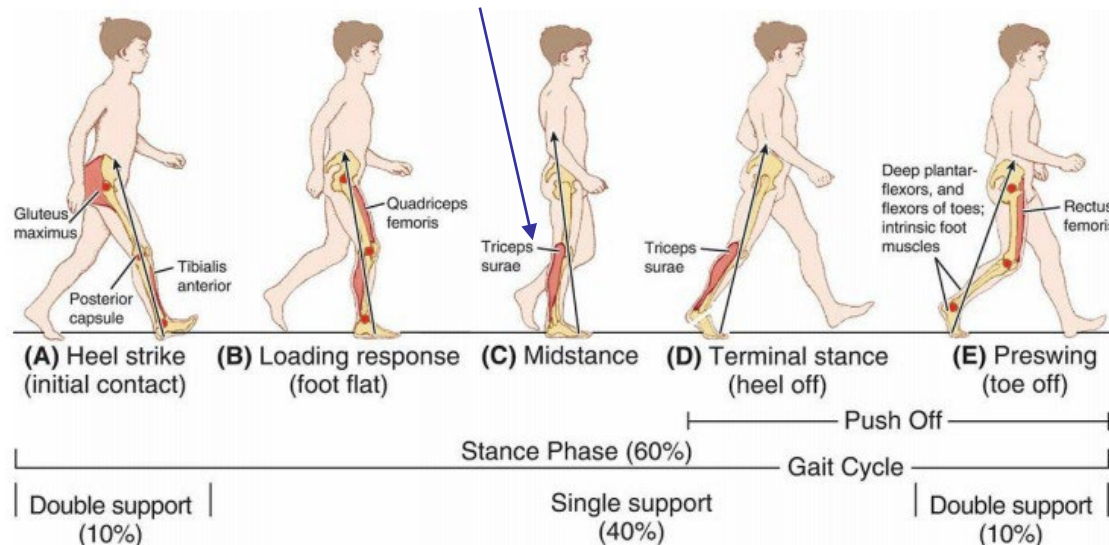


Abbildung 6 - EMG-Muster im Zusammenhang mit dem Gangzyklus eines Erwachsenen in der Standphase. Bild aus Shumway-Cook A. und Woollacott M. 2017

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Elektromyographisches Muster - Standphase

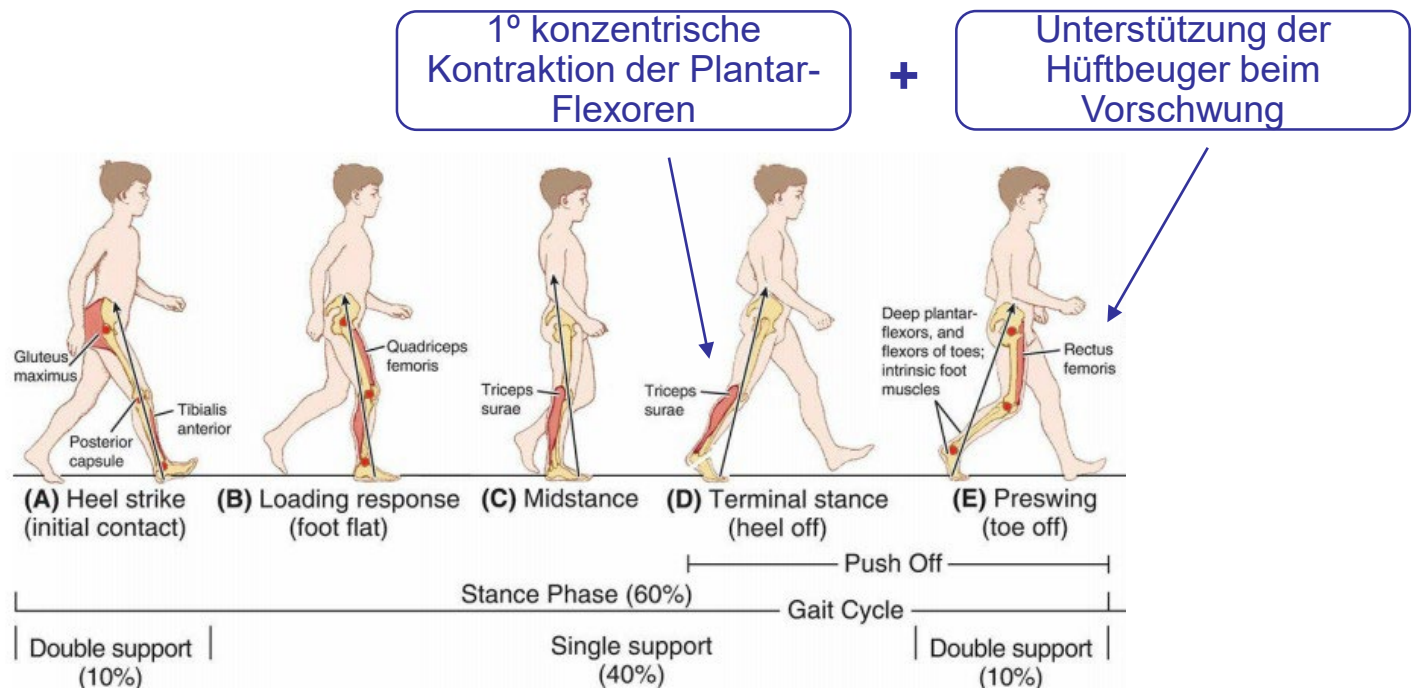


Abbildung 6 - EMG-Muster im Zusammenhang mit dem Gangzyklus eines Erwachsenen in der Standphase. Bild aus Shumway-Cook A. und Woollacott M. 2017

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Elektromyographisches Muster - Schwungphase

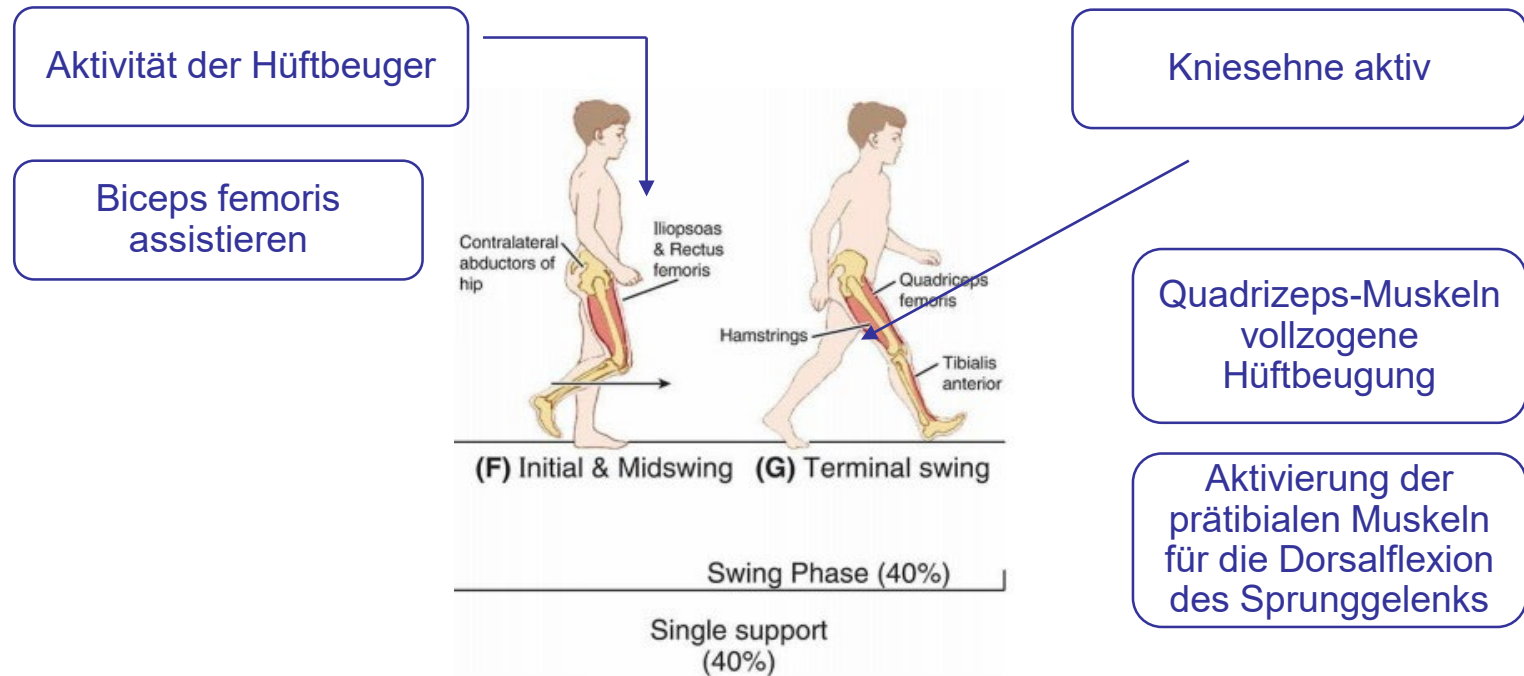


Abbildung 7 - EMG-Muster im Zusammenhang mit dem Gangzyklus eines Erwachsenen in der Schwungphase. Bild aus Shumway-Cook A. und Woollacott M. 2017

VII. ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEURTEILUNG DES NORMALEN GANGS

Alters- und Geschlechtsunterschiede

Autoren	Altersunterschiede	Geschlechtsunterschiede	Muskeln
Bailey C. et al. 2019	ja	ja	EMG Zyklus-zu-Zyklus-Variabilität, Rectus femoris, Gastrocnemius lateralis
Bailey C. et al. 2018	ja	ja	EMG-Variationskoeffizient innerhalb eines Zyklus, Rectus femoris, Gastrocnemius lateralis
Kwee-Meier S. et al. 2018	ja	-	Gastrocnemius medialis, M. soleus
Ribeiro N. et al. 2016	ja	-	Schräg nach innen, Rectus femoris
Di Nardo F. et al. 2015	-	ja	Tibialis anterior, Gastrocnemius lateralis, Vastus lateralis
Chung M. et al. 2010	ja	ja	Tibialis anterior, Rectus femoris

Abbildung 8 - Ergebnisse aus mehreren Studien zur Elektromyographie-Aktivität während des Gehens zwischen Alters- und Geschlechtsgruppen.

D.2 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

VIII. Schlüsselideen

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

VIII. SCHLÜSSELIDEEN

1. Beim Gehen gesunder Probanden können die aus der biomechanischen Bewertung extrahierten Parameter durch die anthropometrischen Merkmale der untersuchten Person beeinflusst werden. Die Gehgeschwindigkeit und die Schrittlänge werden durch die Größe des Probanden und die Länge der unteren Gliedmaßen beeinflusst. Bei den Werten der Bodenreaktionskräfte beeinflusst das Gewicht der Testperson die Ergebnisse. Aus diesem Grund ist es besser, die Normalitätswerte normiert auf die anthropometrischen Merkmale der Testperson darzustellen.
2. So wie die anthropometrischen Daten die Gangresultate gesunder Probanden beeinflussen, so beeinflussen auch Alter und Geschlecht diese Ergebnisse. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass geschlechtsspezifische Unterschiede nach der Adoleszenz aufzufallen beginnen und das Alter dazu führt, dass wir langsamer gehen, mit einer geringeren Kinematik der unteren Gliedmaßen und einem größeren Druck unter dem Fuß.

VIII. SCHLÜSSELIDEEN

3. Bei der Bewertung des Gangs gesunder Personen mit biomechanischen Instrumenten wird dieser nicht durch einen einzigen Normalitätswert dargestellt, sondern durch einen Bereich von Daten, in dem die Leistung der Personen normal ist. In jedem Fall können die Bedingungen der Bewertung, die darauf abzielt, das normale Gangbild zu charakterisieren, unterschiedlich sein, da wir nicht immer unter festen Bedingungen gehen. Aus diesem Grund wird in Studien zu diesem Thema nicht nur das Gehen bei einer angenehmen Geschwindigkeit analysiert, sondern auch bei langsamen und schnellen Geschwindigkeiten.

D.2 Wie ist eine normale biomechanische Beurteilung des Gangs?

IX. Referenzen

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

IX. WESENTLICHE HINWEISE

- [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. WESENTLICHE HINWEISE

[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.

IX. WESENTLICHE HINWEISE

- [15] Fuchioka, S., Iwata, A., Higuchi, Y., Miyake, M., Kanda, S., Nishiyama, T. (2015). Die Vorwärtsgeschwindigkeit des Druckzentrums im Mittelfuß ist ein wichtiger Prädiktor für die Ganggeschwindigkeit bei älteren Erwachsenen. *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). Vergleich der plantaren Druckverteilung zwischen postoperativen Hallux Valgus Füßen und gesunden Füßen. *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., und Polat, MG. (2019). Einfluss von Geschlecht und Alter auf die plantare Druckverteilung in der frühen Adoleszenz. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 53:215-220.
- [19] Gimunova, M., Zvonar, M., und Mikeska, O. (2018). Der Einfluss des Alterns und des Geschlechts auf die plantare Druckverteilung während des Gangs bei älteren Menschen. *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). Räumlich-zeitliche und plantare Druckmuster von 1000 gesunden Personen im Alter von 3-101 Jahren. *Gait & Posture*, 58:78-87.

IX. WESENTLICHE HINWEISE

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. *Biomedizinische Signalverarbeitung und Steuerung* 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.



Die Unterstützung der Europäischen Kommission für die Erstellung dieser Veröffentlichung stellt keine Billigung des Inhalts dar, welcher nur die Ansichten der Verfasser wiedergibt, und die Kommission kann nicht für eine etwaige Verwendung der darin enthaltenen Informationen haftbar gemacht werden.

