

Inhaltsverze

1	Grundlagen	1
1.1	Der Gangzyklus	1
1.1.1	Reziproker Bodenkontakt	1
1.1.2	Gliederung des Gangzyklus	1
1.1.3	Schritt und Doppelschritt	3
1.2	Die Gangphasen	3
1.2.1	Übernahme der Körperlast	4
	1. Unterphase: Initialer Bodenkontakt	5
	2. Unterphase: Belastungsantwort	5
1.2.2	Monopedales Stehen	5
	3. Unterphase: Mittlere Standphase	5
	4. Unterphase: Terminale Standphase	5
1.2.3	Vorschwingen des Beines	6
	5. Unterphase: Vor-Schwungphase	6
	6. Unterphase: Initiale Schwungphase	6
	7. Unterphase: Mittlere Schwungphase	8
	8. Unterphase: Terminale Schwungphase	8
1.3	Basisfunktionen	8
1.3.1	Gliederung des Körpers	8
	Die „Passagier“-Einheit	8
	Die Antriebseinheit	9
1.3.2	Lokomotion	9
	Stabilität im Stand	10
	Fortbewegung	16
	Stoßdämpfung	20
	Energieerhaltung	21
2	Der physiologische Gang	29
2.1	Oberes Sprunggelenk und Fuß	29
2.1.1	Das obere Sprunggelenk	29
	Bewegungen	29
	Bewegungsumfang	29
	Körpervektor	30
	Muskuläre Kontrolle	31
	Dorsalextensoren	32
	Plantarflexoren	34
2.1.2	Funktionelle Betrachtung des oberen Sprunggelenks	35
	Funktionen des oberen Sprunggelenks in den Gangphasen	35
	Zusammenfassung	41

ichnis

2.1.3	Der Fuß	41
	Bewegung	42
	Muskuläre Kontrolle	42
2.1.4	Funktionelle Betrachtung des Fußes	44
2.1.5	Bodenkontakt	49
	Stützflächen am Fuß	49
2.1.6	Druckbelastung des Fußes	50
	Zusammenfassung	51
2.2	Das Kniegelenk	53
2.2.1	Bewegungen	53
	Bewegungen in der Sagittalebene	53
	Rotation in der Transversalebene	55
	Bewegungen in der Frontalebene	55
2.2.2	Vektoren	55
2.2.3	Muskuläre Kontrolle	56
	Extension des Kniegelenks	56
	Flexion des Kniegelenks	57
2.2.4	Funktionelle Betrachtung des Kniegelenks	59
	Funktion des Kniegelenks in den Gangphasen	60
	Zusammenfassung	65
2.3	Das Hüftgelenk	66
2.3.1	Bewegungsumfang	66
	Bewegungen in der Sagittalebene	66
	Bewegungen in der Frontalebene	68
	Bewegungen in der Transversalebene	68
2.3.2	Schwerkraftvektor	69
	Das Drehmoment in der Sagittalebene	69
	Das Drehmoment in der Frontalebene	69
2.3.3	Muskuläre Kontrolle	70
	Extensoren des Hüftgelenks	70
	Abduktoren des Hüftgelenks	71
	Flexoren des Hüftgelenks	71
	Adduktoren des Hüftgelenks	72
2.3.4	Funktionelle Betrachtung des Hüftgelenks	72
	Funktion des Hüftgelenks in den Gangphasen	72
	Zusammenfassung	78
2.4	Kopf, Rumpf und Becken	78
2.4.1	Gangdynamik	78
	Bewegungen	78
	Becken	80

2.4.2	Vektoren	80
	Sagittalebene	80
	Frontalebene	81
2.4.3	Muskuläre Kontrolle	81
	Becken	81
	Rumpf	82
2.4.4	Funktionelle Betrachtung	82
	Zusammenfassung	83
2.5	Der Arm	84
2.5.1	Gangmechanik	84
	Bewegungen	84
2.5.2	Muskuläre Kontrolle	85
2.5.3	Funktionelle Betrachtung	86
2.6	Das Bein als funktionelle Einheit	87
2.6.1	Funktionen nach Gangphasen	87
	Zusammenfassung	93
2.6.2	Muskuläre Kontrolle in den Standphasen	94
2.6.3	Muskuläre Kontrolle in der Schwungphase	96
2.6.4	Kontrollfunktion der intrinsischen (tiefen) Fußmuskeln	99
3	Der pathologische Gang	101
3.1	Pathologische Faktoren	101
3.1.1	Fehlbildungen	101
3.1.2	Muskelschwäche	102
3.1.3	Verlust sensorischer Funktionen	103
3.1.4	Schmerz	104
3.1.5	Störungen der motorischen Kontrolle (Spastizität)	105
3.2	Oberes Sprunggelenk und Fuß als Ursache von Gangstörungen	108
3.2.1	Oberes Sprunggelenk	108
	Terminologie	108
	Übermäßige Plantarflexion des oberen Sprunggelenks	108
	Auswirkungen übermäßiger Plantarflexion des oberen Sprunggelenks in den Gangphasen	109
	Ursachen für übermäßige Plantarflexion	112
	Übermäßige Dorsalextension des oberen Sprunggelenks	115
	Ursachen einer übermäßigen Dorsalextension des oberen Sprunggelenks	117
3.2.2	Funktionsstörungen des Fußes	119
	Abweichungen in der Sagittalebene (Progressionsstörungen)	119
	Ursachen für anormalen Bodenkontakt in der Sagittalebene	120
	Abweichungen in der Frontalebene	122
	Ursachen von Abweichungen in der Frontalebene	124
	Ursachen für übermäßige Varusstellung	124

3.3	Anomalien am Kniegelenk als Ursache von Gangstörungen	130
3.3.1	Abweichungen in der Sagittalebene	130
	Unzureichende Flexion	130
	Übermäßige Extension	132
3.3.2	Ursachen unzureichender Flexion und übermäßiger Extension des Kniegelenks	132
	Schwäche des M. quadriceps fem.	133
	Schmerz	134
	Spastizität des M. quadriceps fem.	134
	Übermäßige Plantarflexion des oberen Sprunggelenks	136
	Schwäche der Hüftgelenksflexoren	137
	Extensionskontraktur des Kniegelenks	138
	Übermäßige Flexion des Kniegelenks	138
	Unzureichende Extension	139
3.3.3	Ursachen übermäßiger Flexion und unzureichender Extension	140
	Unangemessene Aktivität der ischiokruralen Muskeln	140
	Flexionskontraktur des Kniegelenks	142
	Schwäche des M. soleus	142
	Übermäßige Plantarflexion des oberen Sprunggelenks	142
	„Schlottern“ (Wobble)	143
3.3.4	Gangstörungen in der Frontalebene	143
	Ursachen für Gangstörungen in der Frontalebene	144
3.4	Das Hüftgelenk als Ursache von Gangstörungen	144
3.4.1	Unzureichende Extension	144
	Mittlere Standphase	145
	Terminale Standphase	146
3.4.2	Übermäßige Flexion	147
	Vor-Schwung- und initiale Schwungphase	147
	Mittlere Schwungphase	147
3.4.3	Ursachen unzureichender Extension und übermäßiger Flexion des Hüftgelenks	147
	Flexionskontraktur am Hüftgelenk	147
	Kontraktur des Tractus iliotibialis	148
	Spastizität der Hüftgelenksflexoren	148
	Schmerz	149
	Arthrodese	149
	Willkürliche Flexion	149
	Pendelbewegung	149
3.4.4	Unzureichende Flexion des Hüftgelenks	151
	Initiale Schwungphase	151
	Mittlere Schwungphase	151
	Terminale Schwungphase, Initialer Bodenkontakt und Belastungsantwort	151
3.4.5	Ursachen für unzureichende Flexion des Hüftgelenks	151
	Insuffizienz der Hüftgelenksflexoren	151
	Arthrodese des Hüftgelenks	152
	Kompensatorische Abläufe	152
3.4.6	Übermäßige Bewegungen in der Frontalebene	152
	Übermäßige Adduktion	153

3.4.7	Ursachen für übermäßige Adduktion	153
	Ipsilaterale pathologische Phänomene	153
	Kontralaterale pathologische Phänomene	154
	Übermäßige Abduktion	155
3.4.8	Ursachen für übermäßige Abduktion	155
	Ipsilaterale pathologische Phänomene	155
	Kontralaterale pathologische Phänomene	156
	Skoliose mit Beckenschiefstand	156
3.4.9	Übermäßige Rotation in der Transversalebene	156
3.4.10	Ursachen für übermäßige Rotation	156
	Außenrotation	156
	Innenrotation	156
3.5	Becken und Rumpf als Ursachen von Gangstörungen	157
3.5.1	Becken	157
	Sagittalebene	157
	Ursachen der ventralen Beckenkipfung	157
	Frontalebene	158
	Ursachen für das Absinken der kontralateralen Beckenhälfte	159
	Ursachen für das Absinken der ipsilateralen Beckenhälfte	160
	Transversalebene	160
3.5.2	Rumpf	161
	Rückneigung	161
	Ursachen der Rückneigung	162
	Vorneigen des Rumpfes	163
	Gangphasenspezifische Vorneigung des Rumpfes	164
	Seitneigung	164
	Ursachen für eine Seitneigung des Rumpfes	164
	Ursachen für ipsilaterale Rumpfneigung	165
	Übermäßige Rotation des Rumpfes	166
	Dynamische Ursachen für übermäßige Rotation des Rumpfes	166
3.6	Klinische Beispiele	167
3.6.1	Kontrakturen	167
	Posttraumatische Plantarflexionskontraktur des oberen Sprunggelenks (posttraumatischer Pes equinus)	168
	Knieflexionskontraktur (Gonarthrose)	170
	Hüftbeugekontraktur (durch Verbrennungs- verletzung)	170
3.6.2	Muskelschwäche	171
	Quadrizepsschwäche (Poliomyelitis)	171
	Schwäche der Hüftgelenks- und Kniegelenks- extensoren (Muskeldystrophie)	178
	Schwäche des M. soleus und der Hüftgelenks- extensoren (Myelodysplasie)	181
	Schwäche des M. soleus (rheumatoide Arthritis)	183
	Schwäche des M. tibialis anterior (Rückenmarksverletzungen auf Höhe der Cauda equina)	185
	Schwäche der Hüftgelenksabduktoren	187
	Unterschenkelamputation	187
	Muskelschwäche: Zusammenfassung	190

3.6.3	Verlust der motorischen Kontrolle	192
	Hemiparese beim Erwachsenen	193
	Der Spitzfuß	193
	Dynamische Varusdeformität (in der Schwungphase)	194
	Spitzfußdeformität in Kombination mit einer Extensionskontraktur des Kniegelenks	195
	„Stiff knee gait“ (infolge Rückenmarks- verletzung mit Querschnittslähmung)	204
	Infantile Zerebralparese	209
4	Systeme der Ganganalyse	225
4.1	Objektive und subjektive Ganganalyse	225
	Instrumentelle (objektive) Ganganalyse	225
	Beobachtende (subjektive) Ganganalyse	225
4.2	Bewegungsanalyse	227
4.2.1	Goniometer	227
	Eindimensionale Goniometer	228
	Mehrdimensionale Goniometer	228
	Entwicklung	229
4.2.2	Laufstrecke	229
	Streckenlänge und Beschaffenheit	229
	Entwicklung	230
4.2.3	Kamerasysteme	230
	Videodokumentation	231
	Computergestützte Bewegungsanalyse	231
4.2.4	Markersysteme	232
	Orientierungspunkte in der sagittalen Ebene	232
	Markierungspunkte der Frontalebene	234
	Rotationsmarker	235
	Dreidimensionale Markersysteme	235
4.2.5	Referenzskalen der Bewegungsanalyse	236
4.2.6	Interpretation der Daten	236
4.2.7	Zusammenfassung	237
4.3	Dynamische Elektromyographie	240
4.3.1	Ursprung der elektromyographischen Signale	240
4.3.2	Die motorische Einheit	240
4.3.3	Muskelfaseraktivierung	242
4.3.4	Elektromyographische Signalerfassung	242
4.3.5	Zeitlicher Verlauf („timing“)	243
4.3.6	EMG-Quantifizierung	244
4.3.7	Normalisierung	245
4.3.8	Interpretation des EMG	246
	Zeitlicher Ablauf	247
	Relative Muskelanstrengung	247
	Muskelkraft	247
	Zusammenfassung	248
4.3.9	EMG-Analyse des pathologisch veränderten Gangbildes	249
	Abnormaler zeitlicher Ablauf	249
	Abnormale Intensität	250
	Kontrolle der motorischen Funktion	251

4.3.10	EMG-Technik	252
	Elektroden	252
	Vorzüge der Elektrodentypen	255
	Signalverstärkung, -filtration und -speicherung	257
4.4	Bodenreaktionskräfte und Vektoranalyse	259
4.4.1	Bodenreaktionskräfte	260
	Die vertikale Belastung	260
	Horizontale Scherkräfte	262
	Vektoren	263
	Drehmomente	264
	Belastungszentren	266
	Intrinsische Fußbelastung	268
	Schlussfolgerung	269
4.5	Schrittanalyse	270
4.5.1	Normale Variabilität	271
	Alter	271
	Willkürliche Variabilität	272
4.5.2	Messsysteme	272
	Stoppuhr	273
	Druckmesssysteme am Fuß	273
	Individuelle Druckmesssysteme	273
	In eine Sohle eingearbeitete Druckmesssysteme	274
	Instrumentengestützte Laufbänder	274
	Testverfahren	275
4.6	Energieverbrauch	276
4.6.1	Einführung	276
	Arbeit, Energie und Leistung	276
	Kalorimetrie	277
	Energieeinheiten	277
4.6.2	Energiestoffwechsel	278
	Aerobe Oxidation	278
	Anaerobe Oxidation	278
	Aerober und anaerober Stoffwechsel	278
	Respiratorischer Quotient und respiratorische Gasaustauschrate	279
4.6.3	Maximale aerobe Kapazität	279
	Training mit Armen oder Beinen	279
	Konditionsverlust	279
	Training	280
	Ausdauer	280
	Sauerstoffpuls	280
4.6.4	Messung der Stoffwechselenergie	280
	Stabiler Zustand	280
	Spirometrie	280
	Testverfahren: Laufband oder Teststrecke	281
	Methoden aus dem Labor für Pathokinesiologie	281
4.6.5	Der Stoffwechsel in Ruhe und im Stand	282
4.6.6	Der physiologische Gang	283
	Schwankungsbreite der bevorzugten Gang- geschwindigkeiten	283
	Energieverbrauch bei bevorzugter Gang- geschwindigkeit	283
	Energieverbrauch bei hoher Gang- geschwindigkeit	283

Unterschiede zwischen Männern und Frauen	284
Das Verhältnis von Energie zu Geschwindigkeit	285
Das Verhältnis zwischen Sauerstoffkosten und Geschwindigkeit	286
Bodenbeschaffenheit und Schuhwerk	286
Traglasten	286
Gehen auf geneigtem Untergrund	286
Reichweite und Dauer	286
4.6.7 Der pathologische Gang	287
Gelenkversteifung	287
Versteifung des oberen Sprunggelenks	287
Versteifung des Hüftgelenks	287
Immobilisierung des Kniegelenks	288
4.6.8 Das Gehen mit Stützen und Durchschwungtechnik	288
Fraktur	288
Paraplegie	288
4.6.9 Rückenmarksläsion, reziproker Gang	289
Der gangspezifische motorische Index	289
Gangspezifischer motorischer Index und Gangleistung	289
Gangspezifischer motorischer Index und Energieverbrauch	291
Gangspezifischer motorischer Index und axiale Spitzenbelastung	291
Orthesen	292
Gehhilfen	292
Spinale Läsionshöhe	293
Langzeitergebnisse	293
4.6.10 Myelodysplasie	293
Durchschwung-Technik	294
Reziproker Gang	294
Gegenüberstellung von Durchschwung- und reziprokem Gang	294
4.6.11 Amputation	295
Prothese oder Armstütze	295
Amputationshöhe	296
Amputation aufgrund von Gefäßschäden	296
Stumpflänge	297
Beidseitig Amputierte	298
4.6.12 Arthritis	298
Hüftgelenk	298
Kniegelenk	299
Rheumatoide Arthritis	299
Gehhilfen mit Ansatz an der oberen Extremität	300
Konditionsverlust	300
4.6.13 Hemiplegie	300
4.6.14 Energieverbrauch beim Gehen mit gebeugten Knien	301
4.6.15 Spastische Diplegie	301
4.7 Die Ökonomie des Gangs in der hypothetischen Idealnorm	303
4.7.1 Normabweichungen erkennen	303

4.7.2	Acht Kriterien, die ökonomisches Gehen ausmachen	304
	Kriterium 1: Die Masse von Brustkorb und Kopf wird so geradlinig wie möglich nach vorn in die Fortbewegungsrichtung transportiert	304
	Kriterium 2: Gangtempo	304
	Kriterium 3: Breite der Gangspur	306
	Kriterium 4: Schrittlänge	306
	Kriterium 5: Aufrechte Haltung der Wirbelsäule	307
	Kriterium 6: Erhaltung der virtuellen Fußachse und Einordnung der funktionellen Fußlängsachse in die Fortbewegungsrichtung	307
	Kriterium 7: Gehbewegungen der Beine und des Beckens	308
	Kriterium 8: Pendelbewegung der Arme	312
4.7.3	Schlussbetrachtung	314

4.8	Nicht-apparative	
	Ganganalyse	314
	Videoaufzeichnung	314
	Strukturierte Ganganalyse	315
	Bislang eingesetzte Beurteilungsskalen	315
	Bewertung	316
5	Ganganalyse als Bestandteil	
	der täglichen Arbeit	317
5.1	Die Sicht des Mediziners	317
5.2	Die Sicht	
	des Physiotherapeuten	318
	Stichwortverzeichnis	321