

Inhalt

1	Mechanische Grundbegriffe	1
1.1	Kraft	1
1.2	Drehmoment	7
1.3	Druck	15
1.3.1	Zentrum des Drucks	20
1.4	Mechanische Spannung	23
1.5	Reibungskraft	25
1.6	Mechanische Arbeit, Energie, Impuls und Leistung	27
1.7	Stabilität und Instabilität	32
2	Materialeigenschaften fester Stoffe	35
2.1	Dehnung und Stauchung	35
2.2	Scherung	39
2.3	Elastische, viskoelastische und plastische Verformung	39
2.4	Härte	43
2.5	Reibung	44
2.6	Materialversagen	46
3	Verformung und Festigkeit von Strukturen	51
3.1	Experimentelle Bestimmung von Verformung und Festigkeit	52
3.2	Berechnung von Verformung und Festigkeit stabförmiger Strukturen	57
3.2.1	Längenänderung eines Stabes bei Zug- oder Druckbelastung	58
3.2.2	Biegung eines einseitig eingespannten Stabes	59
3.2.3	Torsion eines Stabes um seine Längsachse	61
3.3	Herabsetzung der Festigkeit durch Spannungskonzentrationen	62
4	Rechnen mit Vektoren	67
4.1	Die Winkelfunktionen Sinus, Kosinus und Tangens	68
4.2	Darstellung von Vektoren	71
4.3	Addition von Vektoren, grafisches Verfahren im 2-dimensionalen Fall	75
4.4	Addition von Vektoren, numerisches Verfahren im 2- und 3-dimensionalen Fall	78
4.5	Zerlegung eines Vektors in Summanden	79
4.6	Multiplikation von Vektoren: Skalarprodukt und Vektorprodukt	80
5	Rechnen mit Matrizen	85
5.1	Definition einer Matrix	85
5.2	Multiplikation einer Matrix mit einem Vektor oder einer Matrix	85

6	Verschiebung und Drehung in der Ebene	87
6.1	Anschauliche Beschreibung von Translation und Rotation	87
6.1.1	Translation	87
6.1.2	Rotation	88
6.1.3	Aus Translation und Rotation zusammengesetzte Bewegung	89
6.1.4	Fehlereinflüsse bei der Beschreibung einer Bewegung	91
6.2	Rechnerische Beschreibung von Translation und Rotation	92
6.2.1	Kartesische Koordinaten	92
6.2.2	Translation	93
6.2.3	Rotation	94
6.2.4	Aus Rotation und Translation zusammengesetzte Bewegung	96
6.2.5	Bestimmung der Abbildungsparameter aus 2 Punkten und ihrer Bilder	97
6.2.6	Matrixnotation	100
7	Rechnerische Behandlung von Verschiebung und Drehung im Raum	103
7.1	Koordinaten und Vektoren	106
7.2	Koordinatentransformationen	109
7.3	Geradlinige Verschiebung im Raum	111
7.4	Drehungen im Raum	112
7.4.1	Einzeldrehungen um Koordinatenachsen	112
7.4.2	Aus Einzeldrehungen zusammengesetzte Drehung	113
7.4.3	Euler Winkel und Cardan-Bryant Winkel	116
7.4.4	Einzeldrehung um eine beliebige Achse	118
7.4.5	Aus Rotation und Translation zusammengesetzte Bewegung im Raum und Theorem von Chasles	120
7.5	Berechnung der Parameter der Verschiebung und Drehung im Raum aus der Messung der Lage von Referenzpunkten	125
7.5.1	Parameter der Bewegung eines Körpers, der in einem raumfesten Koordinatensystem beobachtet wird	125
7.5.2	Parameter der Beschreibung der relativen Bewegung von zwei Körpern	130
7.6	Beschreibung der Bewegung der Gelenke des menschlichen Körpers	132
7.6.1	Anschauliche Beschreibung der Bewegung in einer Ebene	132
7.6.2	Beschreibung der räumlichen Gelenkbewegung	134
8	Mechanische Eigenschaften von Knochen und Knorpel	139
8.1	Aufbau des Knochengewebes	140
8.2	Wachstum und Anpassung der Knochenform	141
8.3	Frakturheilung	143
8.4	Mechanische Eigenschaften des Knochenmaterials	144
8.4.1	Spannung und Verformung inhomogener, anisotroper Materialien	144
8.4.2	Materialeigenschaften von Kortikalis	146

8.4.3	Architektur und Materialeigenschaften von Spongiosa	149
8.5	Bestimmung der Knochendichte	152
8.6	Klinische Anwendungen der Knochendichtemessung	156
8.7	Anpassung von Knochen an die mechanischen Anforderungen	158
8.8	Aufbau und mechanische Eigenschaften von Knorpel	166
8.9	Reibungseigenschaften von Knorpel	168
8.10	Anpassung und mechanisch bedingte Schädigung des Knorpels	169
9	Struktur und Funktion von Skelettmuskeln	175
9.1	Anatomische Grundlage der Kraftentfaltung	175
9.2	Abhängigkeit der Muskelkraft von der Länge des Muskels	178
9.3	Abhängigkeit der Muskelkraft von der Verkürzungsgeschwindigkeit	181
9.4	Modellierung der mechanischen Eigenschaften der Skelettmuskeln	182
9.5	Elastische Eigenschaften von Sehnen	183
9.6	Abstufung der Kraft eines Muskels	185
9.7	Zusammenhang zwischen EMG-Signal und Muskelkraft	190
9.8	Architektur des Skelettmuskels	191
9.9	Mechanische Aufgaben der Skelettmuskeln	196
9.10	Training von Kraft und Ausdauer	200
9.10.1	Kraftzuwachs durch Muskelhypertrophie	201
9.10.2	Kraftzuwachs durch neurale Anpassung	201
9.10.3	Kraftzuwachs nach mentalem Training	202
9.10.4	Ausdauertraining	203
10	Mechanische Aspekte der Haut	211
10.1	Anatomischer Aufbau der Haut	211
10.2	Mechanische Kennwerte	212
10.2.1	Elastizitätsmodul	212
10.2.2	Reibungseigenschaften	216
10.3	Reaktion der Haut auf mechanische Beanspruchung	216
10.4	Schädigung der Haut durch mechanische Beanspruchung	217
10.4.1	Schädigung durch Druck	217
10.4.2	Schädigung durch Scherung	219
11	Abmessungen, Masse, Schwerpunktlage und Trägheitsmoment der Segmente des menschlichen Körpers	223
11.1	Bestimmung der Schwerpunktlage und des Trägheitsmoments	223
11.1.1	Schwerpunkt	223
11.1.2	Trägheitsmoment	227
11.2	Masse, Dichte und Abmessungen der Segmente des Körpers	231
11.3	Schwerpunkt der Segmente des Körpers	234
11.4	Trägheitsmoment der Segmente des Körpers	235

12	Ermittlung der Gelenkbelastung in einer Modellrechnung	239
12.1	Gleichgewichtssatz der Mechanik	239
12.2	Beispiel der Ermittlung der Gelenkkraft einer Balkenwaage	242
12.3	Berechnung der Gelenkbelastung im statischen Fall, erläutert am Beispiel des Ellenbogengelenks	244
12.4	Berechnung der Gelenkbelastung im dynamischen Fall, erläutert am Beispiel des Sprunggelenks	248
12.5	Berechnung der Gelenkbelastung, wenn mehr als ein das Gelenk überspannender Muskel aktiv ist	255
13	Mechanische Aspekte des Hüftgelenks	261
13.1	Belastung des Hüftgelenks in der Standphase beim langsamen Gang	261
13.2	Beeinflussung der Hüftgelenksbelastung durch Gehtechnik, äußere Hilfsmittel oder knochenchirurgische Eingriffe	265
13.3	Bestimmung der Hüftgelenksbelastung aus Ganguntersuchungen	268
13.4	Bestimmung der Hüftgelenksbelastung mit Hilfe instrumentierten Gelenkersatzes	272
13.5	Berechnung der Druckverteilung auf der Oberfläche des Hüftgelenks	273
13.6	Mechanische Ursachen der Arthrose des Hüftgelenks	280
14	Mechanische Aspekte des Kniegelenks	285
14.1	Gemeinsamkeiten in Aufbau und Funktion der Gelenke, aufgezeigt am Beispiel des Kniegelenks	285
14.2	Die Bewegung des Kniegelenks	288
14.3	Belastung des femoro-tibialen und des femoro-patellaren Gelenks	294
14.4	Belastung der Kreuzbänder	303
15	Mechanische Aspekte der Lendenwirbelsäule	313
15.1	Belastung der Lendenwirbelsäule	313
15.1.1	Ebene Modellrechnung	313
15.1.2	Räumliche Modellrechnungen	316
15.1.3	Intraabdominaler Druck und Belastung der Lendenwirbelsäule	317
15.1.4	Empfehlungen für das Heben und Tragen von Lasten	319
15.2	Festigkeit der Lendenwirbel	322
15.2.1	Kompressionsfestigkeit	322
15.2.2	Knochendichte und Knochenmineralgehalt in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter	324
15.2.3	Bruch des Wirbelbogens	328
15.3	Segmentale Bewegung	330
15.3.1	Beschreibung als reine Rotation	330
15.3.2	Beschreibung als Kombination von Rotation und Translation	331
15.4	Mechanische Funktion lumbaler Bandscheiben	332

	15.4.1 Druckverteilung an der Grenzfläche Bandscheibe-Wirbelkörper	333
	15.4.2 Zusammenhang zwischen intradiskalem Druck und radialer Auswölbung	334
	15.5 Bandscheibenvorfall	337
	15.5.1 Hypothesen zu mechanischen Ursachen des Bandscheibenvorfalls	337
	15.5.2 Epidemiologische Studien	339
16	Mechanische Aspekte der Schulter	347
	16.1 Die Gliederkette der oberen Extremität	347
	16.2 Muskeln der Schulterregion	350
	16.3 Stabilität des Schultergelenks	353
	16.4 Belastung des Schultergelenks	356
	16.4.1 Statische, ebene Modellrechnungen	356
	16.4.2 Statische, räumliche Modellrechnungen	358
	16.4.3 Dynamische, räumliche Modellrechnungen	360
	16.4.4 Messungen mit instrumentiertem Gelenkersatz	362
17	Biomechanik des Fußes	367
	17.1 Die kinematische Kette des Fußes	368
	17.2 Statik des Fußes	370
	17.2.1 Belastung des Sprunggelenks	371
	17.2.2 Innere Kräfte in der Fußwölbung	373
	17.2.3 Innere Kräfte im Vorfuß	375
	17.2.4 Verformung des Fußes	376
	17.3 Posturographie	377
	17.4 Plantare Druckverteilung	381
	17.4.1 Druck-Messverfahren, Anforderungen und generelle Lösungen	381
	17.4.2 Druck-Messverfahren, Interpretation der Messungen	384
	17.4.3 Bodenreaktionskraft und plantarer Druck	386
	17.4.4 Einflussfaktoren der plantaren Druckverteilung	387
	17.5 Besonderheiten beim Diabetischen Fuß	392
18	Gang	399
	18.1 Schrittmuster	399
	18.2 Zeitliche Schrittfolge	400
	18.3 Kinematik	402
	18.4 Muskelaktivität	404
	18.5 Drehmoment und Leistung der Muskeln	405
	18.6 Angriffspunkt der Bodenreaktionskraft	411
	18.7 Energieverbrauch beim Gehen	411
	18.8 Dominanz eines Beins	414
	18.9 Stürze	415
	18.9.1 Epidemiologie der Stürze	416
	18.9.2 Prävention von Sturzverletzungen	417

19	Übungsaufgaben	423
	Bezeichnungen und Maßeinheiten	471
	Fachausdrücke der Biomechanik Englisch-Deutsch	473
	Sachverzeichnis	479