universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Komponenten der Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

Gollhofer, Albert

Erlensee, 1987

6.0 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

urn:nbn:at:at-ubi:2-5079

6.0 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

6.1. Schnellkraftparameter von isometrischen und dynamischen Kontraktionsformen und Parameter der Kontraktionen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

An den Untersuchungen zur Ermittlung von Schnellkraftparametern im DVZ und der Bestimmung von Leistungskennwerten in den isometrischen, konzentrischen und exzentrischen Kontraktionsformen nahmen insgesamt 88 Vpn teil (Studie I). Die biomechanischen Analysen am BKM und die Studien über das Sprungvermögen umfaßten neben einer Gruppe von Sportstudenten und Sportstudentinnen (n=48) auch Athleten aus Nationalkadern mehrerer unterschiedlicher Sportarten (n=40). In Tab. 6/1 sind die wichtigsten biographischen Daten zusammengestellt.

Beschreibung der Stichproben

	n	Alter	Grösse	Gewicht
Studenten	48	24.4	177.3	70.6
Volleyballer	9	23.9	186.6	82.0
Kugelstosser	9	23.6	189.8	104.6
Springer	22	22.1	184.6	75.8
Mittelwert		23.7	181.4	76.5
Std.dev.		2.1	9.0	14.4

Tab 6/1: Biographische Daten der Probandengruppe in Studie I. In der Studentengruppe und in der Gruppe der Springer lagen von jeweils einer Vp kein biographischen Daten vor

6.1.1. Mittelwerte und gruppenspezifische Differenzen der ermittelten Schnellkraftparameter bei isometrischer, exzentrischer und konzentrischer Kontraktionsform

In Tab. 6/2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter aus den Kraft-Zeit-Kurven bei isometrischer, dynamisch nachgebender und dynamisch überwindender Arbeitsweise dargestellt. Um den Einfluß des Körpergewichts zu relativieren, wurde außerdem die Kraft/Körper-Gewichtsrelation bei den isometrischen und dynamischen Kraftmaxima ermittelt. Zusätzliche Kennwerte (KMD% = 100 * KMD/KMI) enthalten Informationen darüber, zu welchem Prozentsatz das willkürlich isometrisch erreichtbare Kraftmaximum in dynamischen Bedingungen gegen eine konstante Absolutlast realisiert werden kann .

Gruppenmittelwerte des isolierten Kraftverhaltens

	n	KMI	KMIR	EXI	EXIR	TKI	TEI	STKI	KEZ	KDef
Sportstudenten	48	100.1	1.43	0.90	9.12	617	40.4	39.9	108.7	9.7
Volleyballer	9	110.3	1.35	0.92	8.33	676	40.4	43.5	117.0	9.2
Kugelstosser	9	148.0	1.44	1.67	11.45	795	36.6	60.1	159.0	13.2
Springer	22	124.7	1.64	1.39	11.29	590	34.6	55.7	135.5	7.9
Mittelwert		112.2	1.47	1.10	9.02	634	38.5	46.4	121.3	9.5
Std.		26.1	0.28	0.40	2.51	199	13.6	13.3	28.5	5.3

	n	KMD	KMD%	KMDR	EXD	EXDR	TKD	TED	Taus
Sportstudenten	48	80.6	81.5	1.56	0.80	9.82	237	49.3	201
Volleyballer	9	88.6	80.8	1.09	0.75	8.45	272	50.6	179
Kugelstosser	9	101.2	88.4	0.94	1.59	15.75	189	44.8	188
Springer	22	99.4	78.0	1.31	1.22	12.19	217	44.0	171
Mittelwert		87.2	79.7	1.17	0.94	10.60	233	47.9	191
Std.		14.5	8.2	0.19	0.41	3.57	40	18.1	25

Tab 6/2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Kraft-Zeit-Parameter aus isometrischer, exzentrischer und konzentrischer Kontraktionsform. (Die entsprechenden Fallzahlen in den einzelnen Variablen sind im Anhang (Datenblatt 1) aufgelistet)

Zur Ermittlung gruppenspezifischer Unterschiede wurden die Mittelwertsunterschiede mit Hilfe einfaktorieller Varianzanalysen auf ihre Signifikanz hin überprüft. Die errechneten F-Werte waren bei allen Parametern des Kraftanstieges und des maximalen Krafteinsatzes signifikant ($p<0.5\%$), wohingegen die Zeitkennwerte und die Ausprägung des Kraftdefizits keine gruppenspezifischen Differenzen zeigten. Da diese Analyse keine eindeutige Aussage über die partielle Validität der einzelnen Parameter zuläßt (SIMONS 1982), wurde deshalb nach WINER (1971) der W-(Korrelations)koeffizient zwischen der Gruppenzugehörigkeit als unabhängiger Größe und der Merkmalsausprägung in den Schnellkraftparametern als abhängiger Größe berechnet.
Für die einfaktorielle Varianzanalyse, bei der die unabhängige Variable mehr als zwei Ausprägungsstufen besitzt, kann folgende Umrechnung vorgenommen werden:

$$W^2 = \frac{(p-1)\ (F-1)}{(p-1)\ (F-1) + np}$$

(nach: WINER 1971)

wobei p = Anzahl der Stichprobengruppen

n = "Anzahl der Vpn pro Gruppe / bei ungleichen n pro Stufe ist n = durchschnittliche Anzahl der Vpn pro Stufe " (SIMONS 1982).

Durch Quadrierung des Korrelationskoeffizienten ($w^2 = W$) kann der prozentuale Anteil der Gesamtvarianz von unabhängiger (Gruppenspezifität) und abhängiger (Merkmalsausprägung) Variable angegeben werden. Die Berechnung dieses Parameters liefert in gewissem Sinne ein

Zusammenhangsmaß zwischen der Gruppenzugehörigkeit einerseits und den Leistungskennwerten andererseits.

F - Werte und W - Koeffizienten

	KMI	KMIR	EXI	EXIR	TKI	TEI	STI	KEZ	KDef
F - Wert	16.5	3.7	30.0	7.5	2.8	1.0	17.0	15.2	1.6
W = w^2	34.5	8.5	49.7	18.1	5.6	0.1	35.5	32.9	0.1

	KMD	KMD%	KMDR	EXD	EXDR	TKD	TED	Taus
F - Wert	14.4	5.7	8.1	16.9	9.5	9.2	0.5	9.5
W = w^2	33.1	14.7	21.1	37.0	24.0	23.4	0.0	-

Tab 6/3.: Signifikanzüberprüfung der Gruppenmittelwerte. Die F-Werte sind aus einfaktorieller Varianzanalyse, die W-Werte nach WINER errechnet.

6.1.2 Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

Bei allen Sprungformen erfolgte der Absprung und die Landung auf der Meßplattform. Aus dem Kraft-Zeit-Verlauf der vertikalen Kraftkomponente kann bei allen Sprungformen die Flughöhe aus der benötigten Flugzeit errechnet werden. Daraus wurden ermittelt 1.) die absolut erreichten Sprunghöhen, 2.) die absoluten Sprungdifferenzen und 3.) die prozentualen Sprungdifferenzen.

Das Histogramm der erreichten absoluten Sprunghöhen weist in der graphischen Darstellung (Abb. 6/1) bei allen Untersuchungsgruppen einen typischen Verlauf auf. Zwischen den Sprungbedingungen SJ und CMJ besteht eine deutliche Steigerung in der Sprunghöhe. Bei Tiefsprüngen wird bei zunächst geringerer KSP-Erhöhung mit zunehmender Absprunghöhe

ein Extremum hinsichtlich der Sprungleistung erreicht. Bei großen Absprunghöhen ist generell die Fähigkeit zur Realisation hoher Sprunghöhen reduziert.

Durch die Darstellung der absoluten bzw. der prozentualen Sprungdifferenzen kann das charakteristische Krümmungsverhalten der Belastungs/Sprunghöhen-Kurve deutlich demonstriert werden.

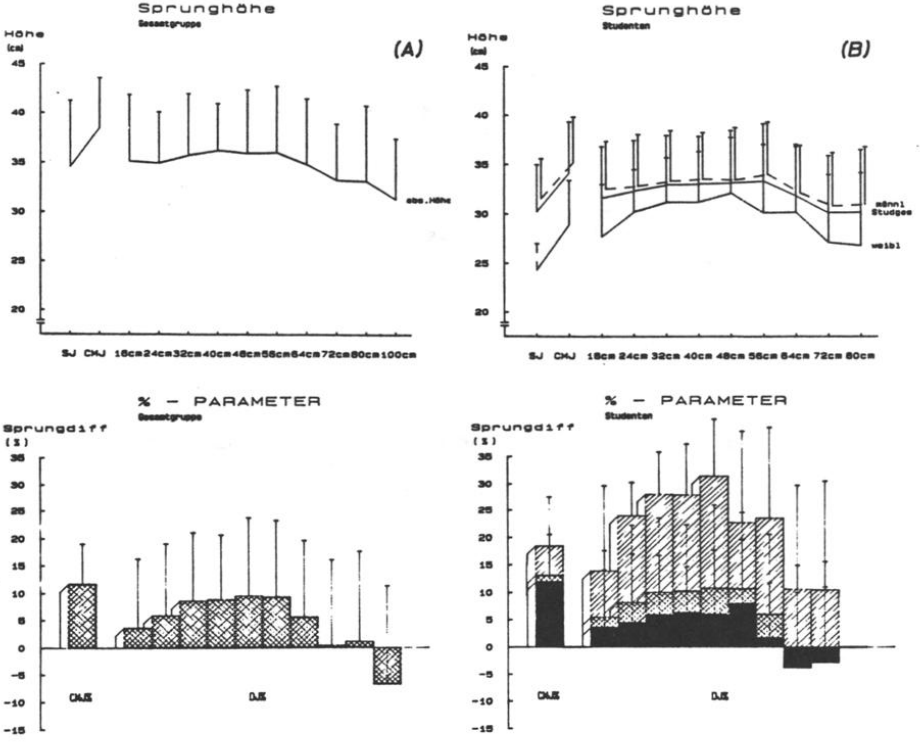


Abb. 6/1 (A,B): Histogramm der erzielten absoluten Sprunghöhen und der prozentualen Springerhöhung der Gesamtgruppe (A), Sportstudenten (B). Die Gruppe der Sportstudenten (kreuzschraffierte Balken) wurde zusätzlich unterteilt in männliche (volle Balken) und weibliche (diagonalgestreifte Balken) Versuchsteilnehmer

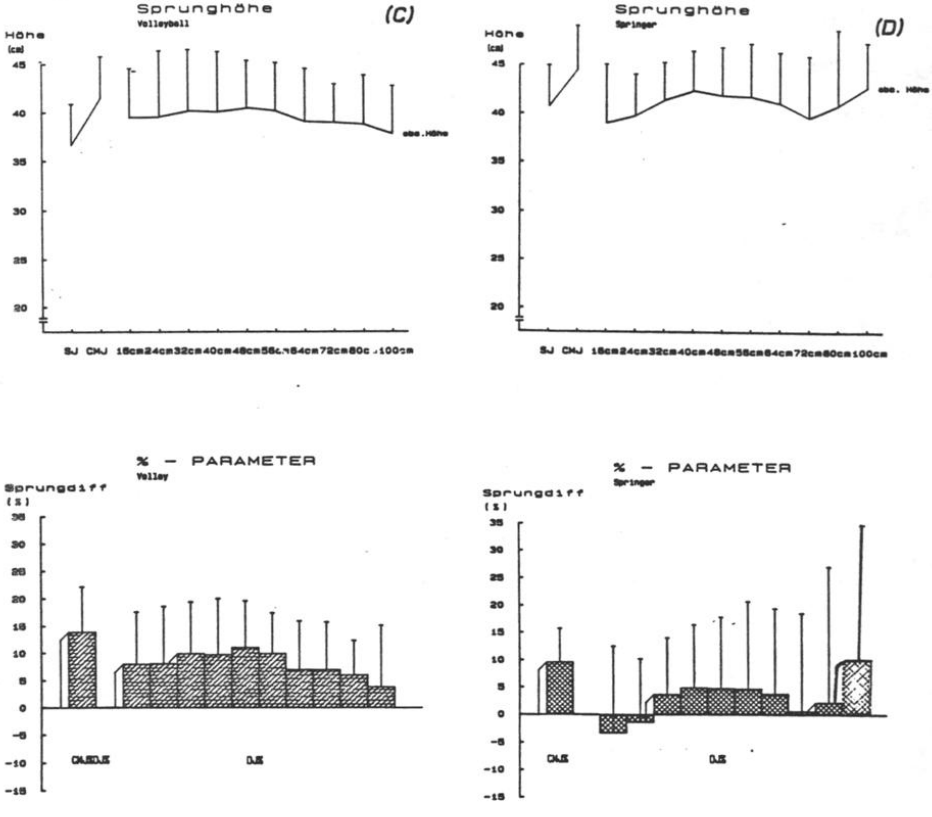


Abb. 6/1 (C,D): Histogramm der erzielten absoluten Sprunghöhen und der prozentualen Sprungerhöhung (SJ = 100%) der Gruppe der Volleyballspieler (C) und der Springer (D)

Da die Mehrzahl der untersuchten Kugelstoßer nur die Sprungformen SJ, CMJ und 16 cm absolvierte, wurden ihre Daten bei der Bestimmung des W-Koeffizienten (W) für die Tiefsprungserie ab 24 cm Absprunghöhe von der Analyse ausgeschlossen. Die prozentualen Aufklärungsraten (W) der Gesamtvarianz bei den analysierten Schnellkraftparametern sind in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit in Tab. 6/4 zusammengestellt.

Lediglich die Parameter der absolut realisierten Sprunghöhen weisen Abhängigkeiten von W > 30% auf. Während in den Bedingungen SJ und CMJ die Gesamtvarianz der Parameter zu ca. 50 % durch die Zugehörigkeit zu den unterschiedlichen Untersuchungsgruppen aufgeklärt wird, liegen in den Tiefsprungserien diese Werte bei 29,8 % (56 cm Absprunghöhe) und 47,5 % (100 cm Abspunghöhe).

Entsprechende Vergleiche der absoluten und prozentualen Sprungdifferenzen lassen keine Gruppenspezifität erkennen. Nicht zuletzt wegen der relativ hohen Standardabweichungen in den einzelnen Parametern kann die Gruppenzugehörigkeit lediglich Anteile zwischen 0 % und 16,9 % an der Gesamtvarianz aufklären.

W - Werte der absoluten Sprungleistung

	SJ	CMJ	16cm	24cm	32cm	40cm	48cm	56cm	64cm	72cm	80cm	100cm
Abs. Sprunghöhe	50.2	46.0	33.9	30.5	36.3	42.7	35.5	29.8	37.2	35.9	31.5	47.5
Abs. Sprungdiff.		0.4	5.9	7.4	1.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.6	0.0	15.1
% Sprungdiff.		5.2	4.8	6.1	1.7	1.3	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	16.9

Tab 6/4: Zusammenstellung der W-Koeffizienten bei den Parametern: absolute Sprunghöhe, absolute Sprungdifferenz, prozentuale Sprungdifferenz (% Sprungdiff.). Die Werte sind Prozentwerte in Bezug zur Gesamtvarianz.

6.1.3. Analyse des Zusammenhanges isometrischer und dynamischer Schnellkraftparameter und Parameterstruktur aus Kontraktionsformen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

Die Korrelationsanalyse zur Überprüfung des Zusammenhanges von Schnellkraftleistungen bei isometrischer und dynamischer Kontraktion einerseits und den Schnellkraftleistungen im DVZ andererseits wurde sowohl bezüglich der Gesamtstichprobe als auch innerhalb der Einzelgruppen durchgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse aus dieser Analyse soll sich im folgenden nur auf die Gesamtstichprobe beziehen, da sich, wie in Kap. 6.2.1 näher erläutert werden wird, die Struktur der

Korrelationsmatrizen der Einzelgruppen nur unwesentlich vom Gesamtgruppenverhalten unterscheidet.

Bevor der Zusammenhang zwischen den Schnellkraftparametern bei isolierter Kontraktion und denjenigen im DVZ dargestellt wird, soll zunächst die Konsistenz der Meßwerte der Parameter in den einzelnen Kontraktionsformen überprüft werden.

6.1.3.1. Zusammenhang von Schnellkraftparametern bei isometrischen und dynamischen Kontraktionsformen

Die Korrelationskoeffizienten zwischen den ausgesuchten Schnellkraftparametern (KMI, EXI, KEZ, KMD, EXD, TAUS, KDEF) sind in Tab. 6/5 dargestellt.

Die Kenngrößen für maximales Kraftverhalten (KMI, KEZ, KMD) und für die Fähigkeit zur schnellen Kraftentwicklung (EXI,EXD) korrelieren mit $r_{xy} > 0.60$ ($p < 0.01\%$) sehr hoch. Die Parameter des maximalen Kraftverhaltens in den einzelnen Kontraktionsformen sowie die Interkorrelationen dieser Kennwerte mit der Bewegungszeit bei dynamischen Ausstoßbewegungen verfügen über ein Zusammenhangsmaß von 'r > 0.90'.

KRAFT-ZEIT-PARAMETER

	KMI	EXI	KEZ	KMD	EXD	Taus	KDef
KMI	1.00	0.68	0.96	0.89	0.63	-0.90	-0.11
EXI		1.00	0.65	0.69	0.82	-0.69	-0.08
KEZ			1.00	0.86	0.60	-0.89	0.17
KMD				1.00	0.65	-0.97	-0.13
EXD					1.00	-0.72	-0.17
Taus						1.00	0.02
KDef							1.00

Tab 6/5: Korrelationsmatrix einzelner Parameter des isometrischen, konzentrischen und exzentrischen Kraftverhaltens

Die Fähigkeit zur schnellen Kraftentwicklung korreliert in isometrischen und dynamischen Untersuchungsbedingungen (EXI,EXD) mit r = 0.82, wobei der dynamische Kraftanstiegsparameter ein höheres Zusammenhangsmaß mit der realisierten Bewegungszeit aufweist (r = 0.72) als der entsprechende isometrische Kennwert.
Das Kraftdefizit (KDEF) zeigt mit den absoluten Kraftkennwerten wegen der hohen Interkorrelationen keinen nennenswerten Zusammenhang auf.
Die ausgewählten Schnellkraftparameter sind neben ihrer gemeinsamen physikalischen Interpretation auch in der gewählten biomechanischen Analyse als konsistent zu betrachten.

6.1.3.2. Zusammenhang der erhobenen Parameter bei Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

Der Zusammenhang der absoluten Sprunghöhen untereinander ist generell hoch und liegt im Bereich von $0.71 < r < 0.95$, wobei die Korrelationsmatrix eine spezifische Struktur aufweist (Tab. 6/6).
Die höchsten Interkorrelationen finden sich in benachbarten Absprungbedingungen, während die Zusammenhänge immer geringer werden, je weiter die Absprungbedingungen auseinander liegen.
Diese Art der Interkorrelationsstruktur weist auf eine hohe Konsistenz innerhalb der einzelnen Sprungtestformen hin. Die Interkorrelationen der absoluten, ebenso wie die der prozentualen Sprungdifferenzen, verfügen dagegen über ein generell vermindertes Zusammenhangsmaß. Bis auf geringfügige Ausnahmen bei niederen Absprunghöhen und den Sprüngen aus dem Stand (SJ, CMJ) ist die Struktur der Korrelationsmatrizen, nicht aber die Höhe des Zusammenhanges, in etwa mit der der absoluten Kennwerte gleichzusetzen (Tab. 6/6(B) und 6/6(C)).

Korrelationen der absoluten Sprunghöhen

(A)

	SJ	CMJ	16cm	24cm	32cm	40cm	48cm	56cm	64cm	72cm	80cm	100cm
SJ	**	.95	.78	.79	.84	.86	.80	.80	.80	.75	.74	.76
CMJ		**	.77	.80	.84	.86	.82	.81	.80	.75	.76	.78
16cm			**	.89	.85	.85	.78	.78	.84	.71	.81	.74
24cm				**	.94	.89	.85	.83	.85	.73	.80	.73
32cm					**	.94	.91	.89	.89	.82	.87	.78
40cm						**	.93	.91	.91	.86	.86	.80
48cm							**	.94	.93	.88	.88	.82
56cm								**	.94	.90	.91	.81
64cm									**	.91	.92	.86
72cm										**	.93	.88
80cm											**	.89
100cm												**

Korrelationen der absoluten Sprungdifferenzen

(B)

	SJ	DCMJ	D16	D24	D32	D40	D48	D56	D64	D72	D80	D100
DSJ	**	-.08	-.33	-.36	-.26	-.26	-.25	-.19	-.21	-.11	-.14	.11
DCMJ		**	.18	.23	.27	.30	.32	.26	.25	.19	.27	.30
D16			**	.76	.63	.56	.49	.47	.56	.37	.34	.24
D24				**	.84	.69	.63	.57	.60	.38	.38	.24
D32					**	.81	.74	.68	.71	.54	.58	.38
D40						**	.79	.72	.74	.63	.68	.44
D48							**	.83	.82	.72	.63	.52
D56								**	.85	.76	.72	.48
D64									**	.79	.74	.61
D72										**	.79	.68
D80											**	.72

Korrelationen der prozentualen Sprungdifferenzen

(C)

	SJ	CMJ%	16%	24%	32%	40%	48%	56%	64%	72%	80%	100%
SJ	**	-.38	-.38	-.44	-.40	-.40	-.39	-.29	-.29	-.11	-.12	.17
CMJ%		**	-.33	.38	.36	.38	.43	.31	.28	.19	.25	.21
16%			**	.74	.65	.57	.52	.47	.54	.33	.30	.17
24%				**	.87	.72	.69	.57	.59	.35	.35	.14
32%					**	.84	.77	.66	.71	.50	.53	.26
40%						**	.83	.72	.75	.59	.63	.30
48%							**	.84	.82	.68	.60	.40
56%								**	.85	.75	.70	.37
64%									**	.79	.73	.54
72%										**	.79	.63
80%											**	.67

Tab 6/6: Zusammenstellung der Korrelationsmatrizen aus den Parametern der absoluten Sprunghöhe (A), der absoluten Sprungdifferenzen (B) und der prozentualen Sprungerhöhung (C)

Eigentum des
Institutes für Sportwissenschaften

6.1.4. Zusammenhang zwischen isometrischen und dynamischen Schnellkraftparametern und Parametern der Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zzyklus

Die Zusammenhangsstruktur zwischen den einzelnen Kraftvariablen und der erzielten absoluten Sprunghöhe läßt eine gewisse Homogenität im Hinblick auf die Höhe des Zusammenhanges erkennen. Die absoluten Kraftparameter (KMI, KEZ, KDY) korrelieren unabhängig von der realisierten Sprungform nahezu gleich hoch ($0.45 < r < 0.66$) (Tab. 6/7(A)). Die Größe des Zusammenhanges ist dabei bei keinem der oben genannten Parameter nach der Höhe der Sprungform gerichtet.

Die Fähigkeit, einen möglichst steilen Anstieg bei isometrischen und dynamischen Kontraktionsformen in der Kraft-Zeit-Kurve realisieren zu können, korreliert mit der Fähigkeit, hohe Sprunghöhen zu springen, bei allen Sprungbedingungen etwas geringer ($0.36 < r < 0.59$).

Relativiert man die isometrische Maximalkraft um den Einfluß des Körpergewichts (KMIR), so sinkt die Korrelation auf Werte zwischen $r = 0.22$ und $r = 0.38$. Aufgrund des relativ hohen Zusammenhanges zwischen dem Anstiegsverhalten bei isometrischer Kontraktion und dem erzielten Kraftmaximum (KMI/EXI ($r = 0.678$)) erscheint es ferner überprüfenswert zu sein, durch Relativierung den Einfluß des maximalen Kraftverhaltens aus dem Anstiegsverhalten herauszufiltern. Die Korrelation zwischen dem dadurch definierten Parameter EXIR und den realisierten absoluten Sprungkraftwerten liegt zwischen $r = 0.01$ und $r = 0.22$.

Die Korrelationen zwischen den absoluten und prozentualen Sprungdifferenzen und den Kennwerten aus den Kraft-Zeit-Kurven der isometrischen und dynamischen Kontraktion deuten auf ein, bis auf wenige Ausnahmen, nur gering ausgeprägtes Zusammenhangsniveau hin (Tab.

6/7(B), 6/7(C)). Hierbei ist eine systematische Richtung des Zusammenhangsmaßes nur bei einigen Kraftparametern zu erkennen. Die Koeffizienten variieren zwischen r = -0.37 (D24/EXI) und r = 0.34 (40%/Taus). Die prozentuale Varianzaufklärung liegt damit zwischen 0% und 13,62%.

Korrelationsmatrix (BKM-Variablen und absolute Sprunghöhen)

(A)

	KMI	EXI	KEZ	KMD	EXD	TAUS	KMIR	EXIR	KDEF
SJ	.66	.59	.62	.65	.52	-.67	.32	.22	-.14
CMJ	.62	.55	.61	.61	.48	-.67	.34	.21	-.11
16cm	.50	.40	.50	.45	.44	-.49	.31	.11	-.05
24cm	.57	.36	.53	.53	.40	-.57	.38	.01	-.13
32cm	.59	.45	.56	.57	.47	-.58	.33	.12	-.09
40cm	.57	.50	.53	.57	.51	-.59	.27	.18	-.06
48cm	.59	.43	.56	.56	.44	-.56	.34	.09	-.11
56cm	.65	.44	.61	.59	.49	-.61	.38	.05	-.13
64cm	.57	.50	.53	.52	.50	-.54	.30	.16	-.09
72cm	.56	.42	.49	.46	.44	-.48	.22	.09	-.23
80cm	.61	.48	.57	.60	.50	-.61	.28	.12	.02
100cm	.55	.42	.51	.54	.48	-.54	.30	.10	-.08

Korrelationsmatrix (BKM-Variablen und absolute Sprungdifferenz)

(B)

	KMI	EXI	KEZ	KMD	EXD	TAUS	KMIR	EXIR	KDEF
DCMJ	-.06	-.05	-.01	-.02	-.04	-.08	.07	-.01	.09
D16	-.28	-.30	-.23	-.29	-.12	.28	-.07	-.14	.20
D24	-.28	-.37	-.17	-.21	-.24	.27	.01	-.28	.18
D32	-.11	-.23	-.06	-.10	-.13	.21	.03	-.19	.23
D40	-.16	-.21	-.14	-.12	-.06	.22	-.02	-.14	.13
D48	-.08	-.22	-.03	-.07	-.12	.17	.03	-.21	.17
D56	.07	-.17	.09	.01	-.01	.02	.12	-.25	.11
D64	-.07	-.07	-.03	-.09	-.01	.12	-.01	-.04	.22
D72	.02	-.01	-.02	-.07	-.00	.09	-.02	-.13	-.08
D80	.03	-.03	.04	.19	.15	-.17	.10	-.05	.10
D100	.20	.10	.23	.26	.15	-.19	.10	-.02	.14

Korrelationsmatrix (BKM-Variablen und prozentuale Sprungdifferenzen)

(C)

	KMI	EXI	KEZ	KMD	EXD	TAUS	KMIR	EXIR	KDEF
CMJ%	-.25	-.22	-.19	-.21	-.20	.16	-.03	-.07	.15
16%	-.29	-.29	-.24	-.30	-.15	.32	-.04	-.13	.22
24%	-.25	-.36	-.21	-.25	-.29	.33	.02	-.24	.19
32%	-.22	-.28	-.16	-.20	-.22	.33	.01	-.17	.25
40%	-.28	-.29	-.24	-.23	-.19	.34	-.04	-.16	.18
48%	-.19	-.28	-.13	-.17	-.21	.28	.01	-.21	.19
56%	-.03	-.23	.00	-.06	-.09	.10	.09	-.27	.13
64%	-.14	-.13	-.11	-.15	-.08	.19	-.01	-.05	.24
72%	-.00	-.11	-.04	-.08	-.03	.10	-.01	-.14	-.10
80%	.04	-.02	.04	.17	.12	-.15	.13	-.03	.08
100%	.23	.12	.24	.28	.17	-.22	.13	-.02	.08

Tab 6/7: Korrelationsmatrizen zwischen ausgewählten Parametern des isometrischen, konzentrischen und exzentrischen Kraftverhaltens und Parametern des DVZ. (A): Absolute Sprunghöhen, (B): Absolute Sprungdifferenzen, (C): Prozentuale Sprungdifferenzen

6.1.5 Multiple Regressionsanalyse

Mit Hilfe der multiplen Regression soll in einem weiteren Analyseschritt versucht werden, aus den Schnellkraftparametern der isometrischen und dynamischen Kontraktionsform geeignete Prädiktoren herauszufiltern, um damit eine möglichst hohe Gesamtvarianz bei den Schnellkraftvariablen im DVZ aufzuklären.

In einer ersten Analyse wurden aus dem isometrischen Kraftverhalten als unabhängige Variablen die Maximalkraft (KMI) und die Explosivkraft (EXI) und in einer zweiten Prozedur aus dem dynamischen Kraftverhalten die Explosivkraft (EXD) und die Ausstoßzeit (TAUS) ausgewählt. Kriteriumsvariablen bildeten einerseits die erreichten absoluten Sprunghöhen (Tab. 6/8(A)), andererseits die absoluten und prozentualen Sprungdifferenzen (Tab. 6/8(B)).

In der schrittweisen Korrelation mit der isometrischen Maximalkraft und der Explosivkraft (Fall A) als unabhängiger Variablen erhöht sich der Zusammenhang durch die zusätzliche Information aus der zweiten Variablen (EXI) nicht wesentlich. Werden als Prädiktoren die Variablen aus dem dynamischen Kraftverhalten herangezogen (Fall B), kann die Ausstoßzeit des leeren Schlittens (TAUS) zusätzliche Varianzaufklärung liefern.

Koeffizienten der multiplen Regression

	KMI	EXI		KMI	EXI		KMI	EXI	
	r	r	R	r	r	R	r	r	R
SJ	.66	.59	.68	--	--	--	--	--	--
CMJ	.62	.55	.65	-.06	-.05	.06	-.25	-.22	.26
16cm	.50	.40	.51	-.28	-.30	.31	-.29	-.29	.32
24cm	.57	.36	.57	-.20	-.37	.37	-.25	-.36	.36
32cm	.59	.45	.59	-.11	-.23	.24	-.22	-.28	.28
40cm	.57	.50	.59	-.16	-.21	.21	-.28	-.29	.31
48cm	.59	.43	.59	-.08	-.22	.24	-.19	-.28	.28
56cm	--	--	--	--	--	--	--	--	--
64cm	.57	.50	.59	-.07	-.07	.09	-.14	-.13	.15
72cm	.56	.42	.56	.02	-.10	.15	-.11	-.00	.14
80cm	.61	.48	.62	.03	-.03	.08	.04	-.02	.06
100cm	.55	.42	.56	.20	.10	.21	.23	.12	.23

absolute Werte abs. Spr.diff. % - Spr.diff.

Koeffizienten der multiplen Regression

	EXD	TAUS		EXD	TAUS		EXD	TAUS	
	r	r	R	r	r	R	r	r	R
SJ	.52	-.67	.67	--	--	--	--	--	--
CMJ	.48	-.67	.67	-.04	-.08	.16	-.20	.16	.20
16cm	.44	-.49	.51	-.12	.28	.31	-.15	.32	.34
24cm	.40	-.57	.57	-.24	.27	.28	-.29	.33	.34
32cm	.47	-.58	.59	-.13	.21	.22	-.22	.33	.33
40cm	.51	-.59	.60	-.06	.22	.26	-.19	.34	.35
48cm	.44	-.56	.56	-.12	.17	.17	-.21	.28	.28
56cm	.49	-.61	.62	--	--	--	-.09	.10	.11
64cm	.50	-.54	.56	.12	-.01	.16	-.08	.19	.21
72cm	.44	-.47	.49	.09	-.00	.12	-.03	.10	.12
80cm	.50	-.60	.61	.15	-.17	.17	.12	-.15	.15
100cm	.48	-.54	.55	.15	-.19	.19	.17	-.22	.22

absolute Werte abs. Spr.diff. % - Spr.diff.

Tab 6/8: Zusammenstellung der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse. Als Prädiktoren sind in Teil (A) die Parameter der isometrischen Maximalkraft (KMI) und der isometrischen Expolsivkraft (EXI) ausgewählt. In Teil (B) dienen als Prädiktoren: die Explosivkraft des dynamischen Kontraktionsverhaltens (EXD) und die Bewegungszeit beim Ausstoss des leeren Schlittens (TAUS).
Kriteriumsvariablen sind von links nach rechts:
Die absolut erreichten Sprunghöhen, die absolut erzielten Sprungdifferenzen und die prozentuale Sprungerhöhung.

Die maximale Aufklärungsrate beträgt im Fall (A) 48% und im Fall (B) 45% der Gesamtvarianz, wobei jeweils der multiple Korrelationskoeffizient bei den Standsprüngen (SJ, CMJ) höher ausgeprägt ist als bei den Parametern aus der Tiefsprungserie.

Für die Fragestellung zur Beurteilung des reaktiven Bewegungsverhaltens waren jedoch die Aufklärungsraten interessant, die bei absoluten bzw. prozentualen Sprungdifferenzen als Kriteriumsvariablen erzielt wurden. Aus diesem Grunde wurden die Prädiktoren aus der isometrischen Kontraktion (Fall A) und aus dem dynamischen Kraftverhalten (Fall B) jeweils einmal mit den absoluten und einmal mit den prozentualen Sprungdifferenzen multipel verrechnet. Wie bereits aus den Koeffizienten aus Tab. 6/7(B) und 6/7(C) zu erwarten war, ist auch der multiple Zusammenhang sehr gering ($R < 0.37$) und in Bezug zur Dehnungsbelastung unsystematisch.

Dieses Ergebnis, das per se bereits eine relative Unabhängigkeit von Kraftparametern des isolierten Kraftverhaltens und relativierten Sprungkraftparametern demonstriert, erfordert eine weitere statistische Methode, die Aufklärung über die generelle Struktur des Schnellkraftverhaltens geben soll.

6.2 Komponenten des Schnellkraftverhaltens - Faktorenanalyse

Mit der Fragestellung (F2) soll versucht werden, aus den Schnellkraftparametern der isometrischen und dynamischen Arbeitsweise einerseits und den Schnellkraftparametern für das reaktive Bewegungsvermögen andererseits, eine Einteilung des allgemeinen Schnellkraftvermögens vorzunehmen.

Mit Hilfe der Faktorenanalyse wird zunächst versucht, die Dimensiona-

lität des vorhandenen Datensatzes festzulegen. Diese statistische Methode wird häufig verwendet, um aus einer Vielzahl vorliegender Variablen "Faktoren" zu extrahieren, die eine möglichst umfassende Beschreibung des Datensatzes ermöglichen. Hierbei geht die Faktorenanalyse "von den Korrelationen zwischen den gemessenen Variablen aus und nimmt an, daß es unabhängige Faktoren gibt, die in allen Variablen wirksam sind und damit zum Zustandekommen der Korrelationen beitragen. ...Sie setzt sich das Ziel, eine möglichst kleine Anzahl von Faktoren zu bestimmen, die die Reproduktionen der Korrelationen gestatten ... Gelingt dies, so läßt sich die Vielzahl der Beziehungen...auf die einfachere Faktorenstruktur reduzieren." (CLAUS/EBNER 1976, S.353f.).

Als Variablen zur Beschreibung des isometrischen Kraftverhaltens werden die Maximalkraft (KMI), die erzielte Explosivkraft (EXI) und der erzielte Kraftwert 50ms nach Kontraktionsbeginn (STI) herangezogen. Aus den exzentrischen Untersuchungsbedingungen wurde als Parameter der maximale exzentrische Kraftwert (KEZ) einbezogen. Aus der dynamischen Kontraktionsform wurden der erzielte Kraftspitzenwert (KDY), die erreichte Explosivkraft (EXD) und die zum **Ausstoß von 24cm Wegstrecke** benötigte Bewegungszeit (TAUS) ausgewählt.

Als Komponenten der Schnellkraftfähigkeit im DVZ wurden die prozentualen Sprungwertdifferenzen (CMJ%, 16cm%, 24cm%, 32cm%, 40cm%, 48cm%, 56cm%, 64cm%, 72cm%, 80cm% und 100cm%) aus den Sprunguntersuchungen in die Analyse einbezogen.

In der vorliegenden Arbeit soll zunächst über die Ermittlung der Eigenwertstruktur und der prozentualen Varianzaufklärung die minimale Anzahl der zu extrahierenden Faktoren festgelegt werden. Abbruchkriterium für die Extraktion ist dabei sowohl die Höhe des Eigenwertes (Eigenwert 1, ÜBERLA 1971, zit. n.SCHMIDTBLEICHER 1980) als auch der

Betrag der durch Hinzunahme eines weiteren Faktors zusätzlich aufgeklärten Varianz. Wie in Tab. 6/9 dargestellt ist, werden bei der Wahl von drei zu extrahierenden Faktoren 76,5% der Gesamtvarianz des bestehenden Datensatzes aufgeklärt. Vergleichende Studien, in denen nicht die Grundgesamtheit aller Vpn, sondern jeweils differenziert nach Mitgliedern von Nationalkadern im Bereich der Sprungkraftdisziplinen,

EIGENWERTE und VARIANZAUFKLÄRUNG

			Eigenwert	VAR%	CUM%
I	Gesamtgruppe				
	(n=79)	1.Faktor	7.50009	41.7	41.7
		2.Faktor	5.00010	27.8	69.4
		3.Faktor	1.26800	7.0	76.5
		4.Faktor	0.85151	4.7	81.2
II	Studenten				
	(n=47)	1.Faktor	7.36558	40.9	40.9
		2.Faktor	4.24090	23.6	64.5
		3.Faktor	1.69553	9.4	73.9
		4.Faktor	0.97749	5.4	79.3
III	Volleyballer				
	+ Springer	1.Faktor	8.20870	45.6	45.6
	(n=26)	2.Faktor	5.29566	29.1	74.7
		3.Faktor	1.59634	8.9	83.6
		4.Faktor	0.81566	4.5	88.1

Tab 6/9: Zusammenstellung der Eigenwertstruktur und Varianzaufklärung aus der Faktorenanalyse.
(I) Analyse mit allen Vpn, (II) Analyse nur Studenten, (III) Analyse nur Springer
(VAR%) bezeichnet den Prozentsatz der durch den Faktor aufgeklärten Gesamtvarianz
(CUM%) bezeichnet die kumulativen Prozentangaben

sowie des Volleyballs (Volleyballer+Springer) und studentischen Vpn analysiert wurden, liefern ebenso eine 3-faktorielle Struktur, wobei 83,6% (Volleyballer+Springer) und 73,9% (Studenten) Gesamtvarianzaufklärung erzielt werden konnte.

Die Ergebnisse der Faktorenanalyse nach drei Extraktionsfaktoren sind tabellarisch in der rotierten (VARIMAX) Faktorenmatrix (Tab. 6/10) aufgelistet. Eine graphische Abbildung der entsprechenden Faktorenladungen der einzelnen Variablen ist in Abb. 6/2 dargestellt.

Aufgrund der Polarisierung der extrahierten Faktoren konnten entsprechend der parameterspezifischen Ladungswerte aus der rotierten Faktorenmatrix folgende Variablen den Faktoren 1 bis 3 zugeordnet werden:

Faktor 1: KMI, EXI, STI, KEZ, KDY, EXD, TAUS

Faktor 2: CMJ%, 16cm%, 24cm%, 32cm%, 40cm%, 48cm%

Faktor 3: 72cm%, 80cm%, 100cm%.

Die Variablen 56cm% und 64cm% konnten wegen ihrer Matrixwerte nicht eindeutig Faktor 2 <u>oder</u> Faktor 3 zugeordnet werden. Durch die kontinuierliche Verschiebung ihrer Faktorenladungen in der dreidimensionalen Analyse bedingt, kann die hier zugrunde liegende Komponente bei diesen Absprunghöhen ausreichend nur durch beide Faktoren beschrieben werden. Sie werden im folgenden als intermediäre Variablen bezüglich Faktor 2 und Faktor 3 bezeichnet. Für die Randvariable 48cm% trifft dies mit Einschränkungen auch zu.

Um die Dimensionalität des vorhandenen Datensatzes abzusichern, wurde zusätzlich eine zweifaktorielle und eine vierfaktorielle Analyse durchgeführt. In der zweidimensionalen Analyse sind die Variablen des isometrischen, exzentrischen und dynamischen Kraftverhaltens auf den

FAKTOREN-MATRIX (3 dim)

	FAKTOR1	FAKTOR2	FAKTOR 3
KMI	.92697	-.12137	.03189
EXI	.80646	-.20126	-.03732
STI	.75938	-.16370	-.01448
KEZ	.92257	-.05231	.01546
KMD	.92414	-.12663	.06208
EXD	.80221	-.12160	.03661
TAUS	-.92736	.20154	-.03462
CMJ%	-.16499	.45446	.14578
16%	-.17040	.78600	.10170
24%	-.17287	.91811	.11652
32%	-.14056	.85652	.32555
40%	-.19968	.72992	.48500
48%	-.15343	.68093	.58759
56%	-.02551	.57432	.67427
64%	-.08370	.54513	.74566
72%	-.05300	.23783	.89867
80%	.10077	.27619	.86316
100%	.23689	.03526	.77993

Tab 6/10: Faktorenladungen der Analysevariablen, die aus der rotierten Faktor-Matrix errechnet sind

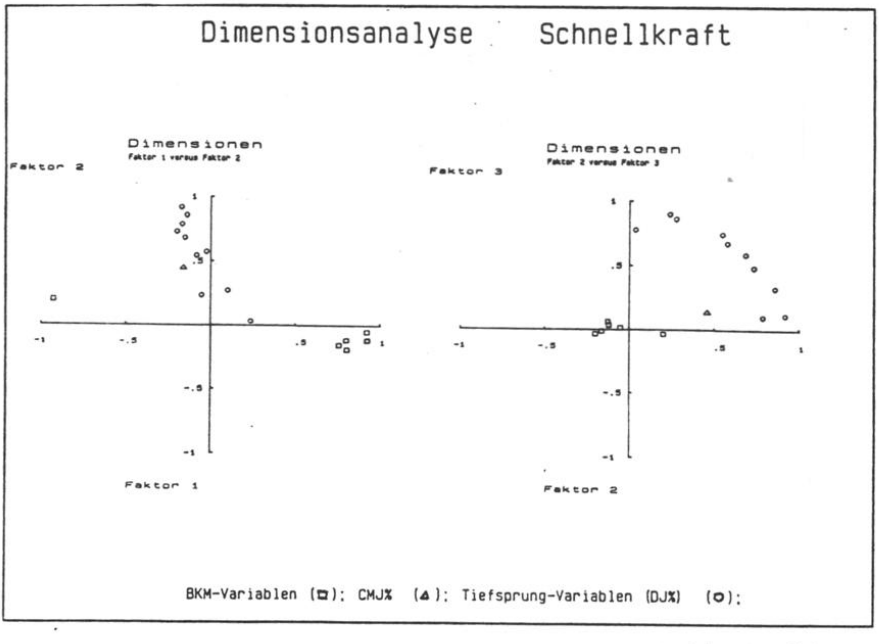


Abb. 6/2: Graphische Darstellung der in Tab. 6/10 aufgelisteten Faktorenladungen einzelner Variablen.
Faktor 1 (horizontal) versus Faktor 2 (vertikal); Faktor 2 (horizontal) versus Faktor 3 (vertikal)

ersten Faktor, die der prozentualen Sprungdifferenzen global auf den zweiten Faktor zentriert. Erst die Hinzunahme einer dritten Faktorextraktion unterteilt in eine Dimension des Sprungverhaltens bei niederen Absprunghöhen und in eine Dimension des Sprungverhaltens bei großen Absprunghöhen. Eine vierfaktorielle Datenanalyse wurde aus Gründen der Eigenwertstruktur (siehe Tab. 6/9) und des redundanten Informationsgehaltes des vierten Faktors (4.7% zusätzliche Varianzaufklärung) nicht ausgewertet.

Betrachtet man zusammenfassend die Ergebnisse der vorgestellten Faktorenanalysen, so kann die Frage nach der eigenständigen Dimension des reaktiven Bewegungsverhaltens positiv beantwortet werden. Allerdings erbringt die Faktorenanalyse nicht eine zweidimensionale Struktur mit den Kraftvariablen auf der einen Seite und den Kennwerten des reaktiven Sprungverhaltens auf der anderen Seite, sondern eine Aufteilung in Sprungkraftkennwerte mit niederen und mit hohen Einsprungbelastungen. Wie durch die Höhe ihrer jeweiligen Faktorenladungen bestimmbar ist, muß die Zuordnung und die relative Position innerhalb dieser Faktoren als eine direkte Funktion der Dehnungsbelastung angesehen werden.

6.2.1 Analyse der individuellen Faktorenladungen

Die Berechnung individueller Faktorenwerte wurde hauptsächlich zur Überprüfung bzw. Abschätzung folgender Gesichtspunkte vorgenommen:

1.) Es sollte überprüft werden, ob es überhaupt zulässig ist, eine gemeinsame Faktorenanalyse für Springer (Nationalkadermitglieder Sprungdisziplinen plus Volleyballer) und Studenten (männlich und weiblich) durchzuführen, oder ob für jede Subpopulation getrennt eine

Analyse berechnet werden muß. Voraussetzung zur Verwendung einer für alle Gruppen gemeinsamen Faktorenanalyse ist die gleiche Struktur der Korrelationsmatrix in den Variablen der Faktorenanalyse.

2.) Es sollte die individuelle Rangposition jeder Vp in Bezug zu den erhobenen Faktorenwerten festgelegt werden.

Zu 1.) Durch die Wahl dieser Analysemethode mußte in einigen Aussagebereichen eine Reduktion der Stichprobengröße in Kauf genommen werden. Bei der Berechnung von individuellen Faktorenwerten bezügl. der 3-faktoriellen Datenstruktur wird davon ausgegangen, daß für jede Vp in allen Analysevariablen ein vollständiger Datensatz ohne "missing data" vorliegt. Diese Voraussetzung hat zur Folge, daß ein Reihe von Vpn aus der Analyse ausgeschlossen werden muß, wenn z. B. nur eine Sprungbedingung nicht realisiert wurde bzw. nicht realisiert werden konnte. Besonders bei den Sprungserien aus großen Absprunghöhen konnten einzelne Probanden die geforderten Sprünge nicht mehr durchführen, so daß in diesen Fällen fehlende Datenangaben entstanden. Eine Abschätzung der durch dieses Ausschlußverfahren befürchteten verminderten Aussagekraft wurde durch eine zweite Berechnung der Faktorenladungen vorgenommen, in der mit Hilfe von Analyseoptionen bis zu 50% aller Meßwerte bei einer Vp fehlen dürfen, ohne daß es zu deren Ausschluß vom Rechenverfahren kommt. Die fehlenden Werte werden hierbei durch die Mittelwerte der Gesamtgruppe ersetzt. In Tab. 6/12 sind die Faktorenwerte mit Ausschluß von 'missing data' ohne Kennzeichnung, diejenigen mit Einschluß von 'missing data' mit dem Zusatz '.5' versehen.

Bevor jedoch auf die Zusammenhangsstruktur der Faktorenladungen eingegangen wird, soll zunächst deren gruppenspezifische Ausprägung überprüft werden.

Zwischen den Einzelgruppen (Springer versus Studenten) sind die Mittelwerte bezüglich Faktor 2 nicht, bezüglich Faktor 1 und Faktor 3 signifikant unterschieden (Tab. 6/11). Hierbei haben die Springer in den Faktorenwerten des ersten und dritten Faktors ein deutlich höheres Werteniveau (Tab. 6/11).

In einem weiteren Schritt muß nach Analysevoraussetzung die Verteilung der extrahierten Faktorenwerte in Bezug zur Gesamtstichprobe orthogonal sein, d.h. die Korrelationen der Faktorenwerte untereinander müssen minimal sein ($r_{xy} > 0$). Wählt man nun aus der Gesamtstichprobe verschiedene Subpopulationen aus und korreliert deren Faktorenwerte, so muß sich, unter der Voraussetzung der Vergleichbarkeit ihrer Faktorenausprägung, in den Einzelgruppen eine identische Zusammenhangsstruktur ergeben. Ein Vergleich der Korrelationsmatrizen in den Einzelgruppen (Tab. 6/12) zeigt, daß a) alle Einzelkorrelationen nicht signifikant sind ($p < 5\%$) und b) die Richtung und Rangreihung der Korrelationskoeffizienten in den Einzelgruppen mit der der Gesamtstichprobe übereinstimmt.

		Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Gesamtgruppe				
	Mittelwert	-.0246	.1267	.1042
	Standardabw.	1.0079	.8169	.9007
	Fälle	79	46	46
Studenten				
	Mittelwert	-.5313	.2481	-.1190
	Standardabw.	.6435	.8791	.8599
	Fälle	47	30	30
Volleyballer + Springer	Mittelwert	.5331	-.1060	.5314
	Standardabw.	.8727	.6730	.8762
	Fälle	26	15	15
t-Wert		(p<0.01)	(n.s.)	(p<0.05)

Tab 6/11: Mittelwerte und Standardabweichungen der individuellen Faktorenwerte der Gesamtgruppe und der Einzelgruppen, sowie die Signifikanzüberprüfung (t-Test) der Gruppenmittelwerte

Da, wie bereits angeführt, die Faktorenladungen auf der Basis der jeweils vorliegenden Korrelationsmatrix errechnet werden, kann anhand dieser Ergebnisse davon ausgegangen werden, daß die Zusammenhangsstruktur der analysierten Parameter bei beiden Subpopulationen nahezu gleichgerichtet war.

Aus diesem Grunde kann auch die Korrelationsmatrix als gemeinsame Zusammenhangsstruktur aller Teilgruppen betrachtet werden, da sie auch für die ermittelten Subpopulationen Aussagekraft besitzt.

Korrelationsmatrix der Faktorenwerte Gesamt- (I), Springer- (II) und Studentengruppe (III)

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor3	Faktor 1.5	Faktor 2.5	Faktor 3.5	
Gesamtgruppe (n):							
Faktor 1	**	0.14 (46)	-0.14 (46)	**	0.15 (79)	-0.36 (76)	Faktor 1.5
Faktor 2		**	0.06 (46)		**	-0.05 (76)	Faktor 2.5
Faktor 3			**			**	Faktor 3.5
Springer (n):							
Faktor 1	**	0.12 (15)	0.02 (15)	**	0.04 (25)	-0.25 (25)	Faktor 1.5
Faktor 2		**	0.31 (15)		**	0.18 (25)	Faktor 2.5
Faktor 3			**			**	Faktor 3.5
Studenten (n):							
Faktor 1	**	-0.06 (30)	-0.12 (30)	**	-0.04 (48)	-0.30 (48)	Faktor 1.5
Faktor 2		**	0.09 (30)		**	-0.03 (48)	Faktor 2.5
Faktor 3			**			**	Faktor 3.5

Tab 6/12: Korrelationskoeffizienten der Faktorenwerte und Anzahl analysierter Fälle (xxx) in der Gesamtgruppe (I), Springergruppe (II) und Studentengruppe (III).
Die Korrelationsanalysen sind einmal mit (rechts) und einmal ohne (links) Einbeziehung von fehlenden Variablenwerten errechnet

Zu 2.) Aus dem Rechenverfahren nach der Bestimmung der individuellen Faktorenladungen konnte jeder Vp mit vollständigem Datensatz in den Variablen der Faktorenanalyse für jeden Faktor ein bestimmter Wert zugeordnet werden. Die Größe des entsprechenden Faktorscores läßt direkt Rückschlüsse auf das individuelle Leistungsvermögen in der jeweiligen Dimension zu. Der Ladungswert einer Vp auf den entsprechenden Faktor kann als Indikator herangezogen werden, der das faktorspezifische Leistungsvermögen global beschreibt. So haben Vpn mit niedriger Ladungszahl einen geringen, Vpn mit hoher Ladungszahl einen hohen Ausprägungsgrad in der beobachteten Dimension. Durch die Analyse nach individuellen Faktorenladungen kann so eine Rangreihenklassifizierung der untersuchten Vpn nach den ermittelten Faktorenwerten vorgenommen werden.

6.3 Neuronale Regulation bei Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse aus den EMG-Untersuchungen über das Landeverhalten bei einer Vielzahl unterschiedlicher Sprungformen vorgestellt. Die referierten Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf das Datenmaterial aus den Studien II bis IV.

6.3.1 Der Einfluß der Absprunghöhe auf das Innervationsverhalten der Beinextensoren bei beidbeiniger und einbeiniger Landung

In der Untersuchungsreihe zur Bestimmung der Innervationscharakteristik bei unterschiedlichen Absprunghöhen werden neben der Erfassung der Kraft-Zeit-Kurve auch die Veränderungen im Kniegelenkswinkel mit Hilfe der Goniometrie ermittelt. Um eine möglichst umfassende Beurteilung der neuronalen Regulation der gesamten Beinstreckung vornehmen zu können, wurde das Oberflächenelektromyogramm folgender Extensorenmuskeln analysiert: M. Soleus, M. Gastrocnemius m., M. Vastus m. und M. Rectus f..

Das Auswerteverfahren des Roh-EMG's nach dem Average-Verfahren verlangt, daß eine Versuchsbedingung mehrfach wiederholt wird. Insgesamt konnten nur wenige unterschiedliche Untersuchungsbedingungen angeboten werden. Diese sollten zum einen das gesamte Spektrum der Sprungbelastungsvariation beinhalten und zum anderen aber so bemessen sein, daß jede Vp alle Versuchsbedingungen mindestens acht Mal realisieren konnte (Tab. 5/2). Die Tatsache, daß für viele Vpn die Unter-

suchungsbedingungen "Tiefsprung aus 100cm Absprunghöhe mit beidbeiniger Landung" und "Tiefsprung aus 72cm Absprunghöhe mit einbeiniger Landung" nicht durchführbar waren, führte dazu, daß sich in diesen beiden Sprungformen die Gesamteilnehmerzahl auf n = 6 bzw. n = 3 reduzierte. (Die entsprechenden Fallzahlen in den einzelnen Parametern der angebotenen Sprungbedingungen sind im Datenblatt 2 (Anhang) zusammengestellt.)

6.3.1.1 Kraft-Zeit- und Winkel- Zeit- Parameter

Der von den Vpn während der Bodenkontaktzeit erzielte maximale Kraftwert wird sowohl bei beidbeiniger als auch bei einbeiniger Landung beim Tiefsprung aus 40cm Absprunghöhe erreicht, wobei der einbeinig realisierte Kraftspitzenwert bei dieser Bedingung im Mittel 66,2% des beidbeinig ermittelten Wertes beträgt (Abb. 6/3). Die Bodenkontaktzeit - der Zeitraum, in dem die Umwandlung von der exzentrischen in die konzentrische Bewegungsrichtung erfolgt - ist bei den beidbeinigen Tiefsprüngen aus 16cm bzw. 40cm Absprunghöhe mit 206,8 (+/-28,4) ms bzw. 211,0 (+/-39,5) ms etwa gleich und bei großen Absprunghöhen (100cm) deutlich verlängert. Bei den Sprungserien mit einbeiniger Landung sind die Bodenkontaktzeiten im Mittel um ein Drittel (33,3+/-18,8%) verlängert. Die nach Bodenkontakt ermittelten Flugzeiten und damit die resultierenden KSP-Erhöhungen sind bei den Tiefsprüngen aus 16cm bzw. 40cm Absprunghöhe sowohl bei beidbeiniger als auch bei einbeiniger Landung am höchsten. Die Relationen von einbeinig zu beidbeinig erzielten KSP-Erhöhungen betragen im Mittel 74,1+/-13,9%.

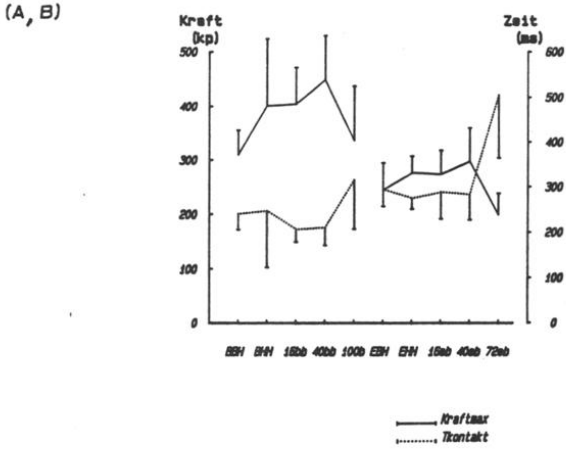


Abb.6/3 A,B: Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse in Abhängigkeit von der jeweiligen Sprungform (Abkürzungen s. Text). (A) Kraftspitzenwert; (B) Kontaktzeiten

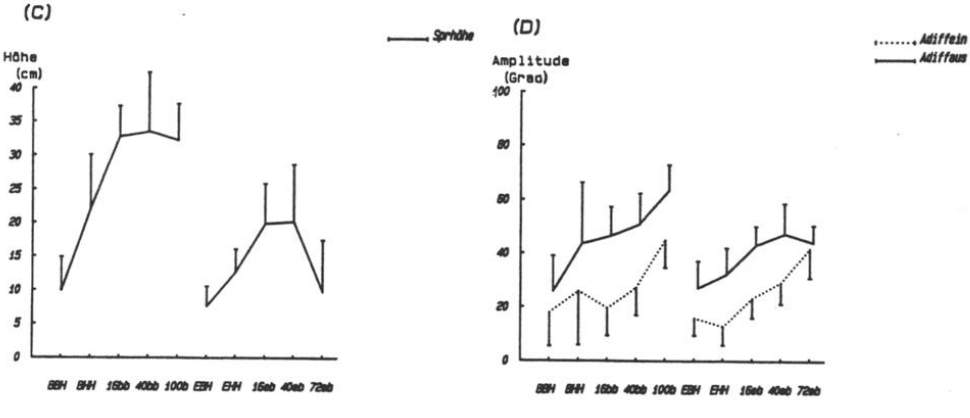


Abb. 6/3 C,D: Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse in Abhängigkeit von der jeweiligen Sprungform (Abkürzungen s. Text). (C) Sprunghöhen; (D) Amplituden der Gelenkwinkel während der exzentrischen (Adiffein) und während der konzentrischen (Adiffaus) Bewegungsphase

Der Zeitpunkt vom Auftreffen der Beine auf dem Boden bis zum Erreichen des Kraftmaximums (TKM) und bis zur kleinsten Winkelstellung im Kniegelenk (T_{amin}) ist bei allen Sprungbedingungen nahezu identisch und zeigt keine Abhängigkeit von der Sprungbelastung.

Die Ergebnisse der Analyse der Kniegelenkwinkel während der Landephase sind in Abb. 6/3D und 6/4 zusammengestellt. Während der Kniegelenkswinkel weder beim Landen (a_{ein}), noch beim Absprung (a_{aus}) vom Boden eine Abhängigkeit von der jeweiligen Sprungbelastung zeigt, ist die maximale Beugung im Kniegelenk (a_{min}) umso größer, je höher die Sprungbelastung gewählt wird. Dementsprechend ist die Gesamtwinkelamplitude sowohl während der exzentrischen ($A_{diff\ ein}$) als auch während der konzentrischen ($A_{diff\ aus}$) Phase mit zunehmender Sprunghöhe vergrößert. Abb. 6/5 zeigt die mittleren Winkelgeschwindigkeiten im Kniegelenk während der nachgebenden (exzentrischen) (w_{ein}) und während der überwindenden (konzentrischen) (w_{aus}) Bewegungsphase. Dabei überrascht, daß beim Vergleich innerhalb der einzelnen Absprunghöhen die Höhe der Winkelgeschwindigkeiten im Kniegelenk bei beidbeiniger Landung höher ausgeprägt waren als bei einbeiniger Landung.

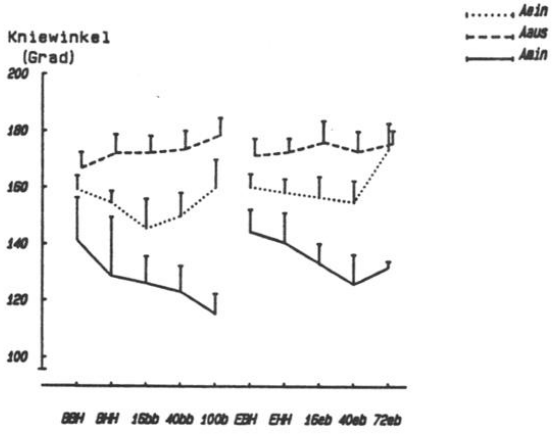


Abb. 6/4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Kniegelenk_winkel bei beid- und einbeiniger Landung aus unterschiedlichen Absprunghöhen zum Zeitpunkt des ersten Bodenkontaktes (aein), bei grösster Flexion (amin) und beim Verlassen der Sprungunterlage (aaus)

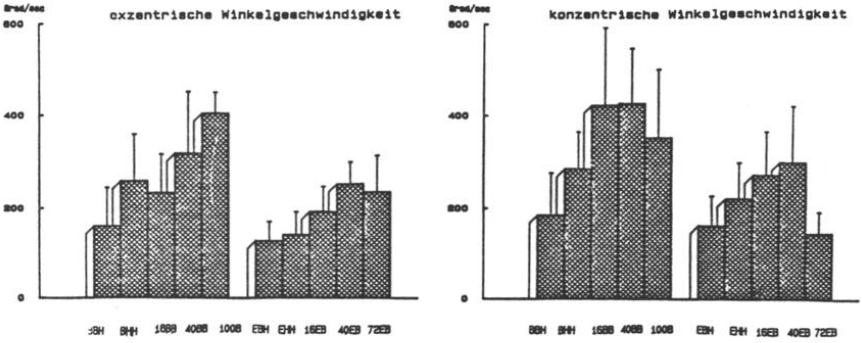


Abb. 6/5: Histogramm der mittleren Winkelgeschwindigkeit im Kniegelenk während der exzentrischen (rechts) und der konzentrischen (links) Bodenkontaktphase (Mittelwerte und Standardabweichungen)

6.3.1.2 Innervationsparameter

Ein zentrales Anliegen dieser Untersuchungsserie stellt die Frage nach der Regulation neuronaler Aktivierungsprozesse bei Schnellkraftleistungen im DVZ, sowie deren Abhängigkeiten von mechanischen (d.h. dynamographischen) Parametern dar.

In Abb. 6/6 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter zur Abschätzung der reflektorischen Aktivierung einzelner Beinextensoren zusammengestellt. Als Kennwert der Reflexaktivität wurde der Mittelwert der EMG-Amplituden während der SLC-, MLC- und LLC-Phase berechnet.

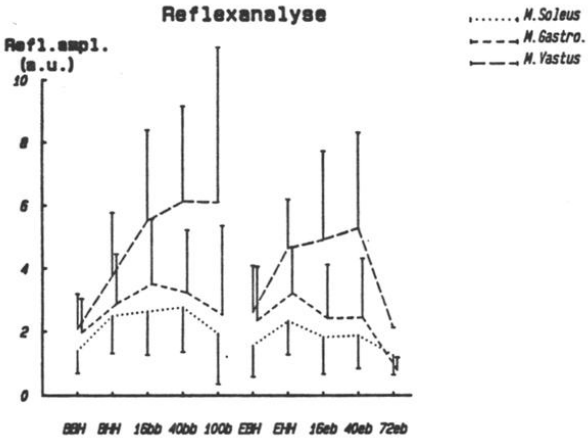


Abb. 6/6: Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren Reflexamplitude der Beinextensoren beim Landen mit unterschiedlichen Dehnungsbelastungen

Die einzelnen Aktivierungsmaxima während der Phase reflektorischer Aktivität sind deutlich zu erkennen. Hierbei ergibt sich in Abhängigkeit von der Landesituation (z.B. beidbeinige Landung versus einbeinige Landung) eine muskelspezifische Aufteilung. Während der M. Soleus eine leicht ansteigende Amplitude im Reflexbereich bis zu Tiefsprüngen aus 40cm Höhe (beidbeinige Landung) aufweist, ist diese beim M. Gastrocnemius bereits bei Tiefsprüngen aus 16cm Höhe maximal und fällt gegen große Sprungbelastungen hin ab. Bei einbeiniger Landung ist diese Aktivierung bereits beim einbeinigen Hüpfen mit betonter Vertikalamplitude maximal ausgeprägt und im Vergleich zu beidbeiniger Landung gegen große Sprungbelastungen reduziert.
Die Regulation der mittleren Reflexamplituden bei zunehmender Sprungleistung ist am Oberschenkelmuskel (M. Vastus m.) im Vergleich zur Unterschenkelmuskulatur deutlich unterschiedlich. Ein Vergleich der Aktivierungsamplitude zeigt, daß der M. Vastus m. in allen Untersuchungsbedingungen mit wesentlich größerer Amplitude versorgt wird. Die Reflexaktivität des M. Vastus m. verläuft mit zunehmender Sprungbelastung zunächst linear ansteigend und ist bei Tiefsprüngen mit beidbeiniger Landung aus 40cm bzw. 100cm maximal ausgebildet. Bei einbeiniger Landung kann für die niederen Absprunghöhen ein entsprechendes Reflexverhalten beobachtet werden. Überraschenderweise jedoch fällt die Aktivierung bei Landungen aus 72cm Höhe deutlich ab. An dieser Stelle muß deshalb nochmals auf den selektiven Charakter der Stichprobenmittelwerte bei den extremen Sprungbelastungen hingewiesen werden.

Als quantitatives Maß für die zeitliche Verteilung der Innervationsaktivität diente die unterschiedliche prozentuale Aufgliederung des

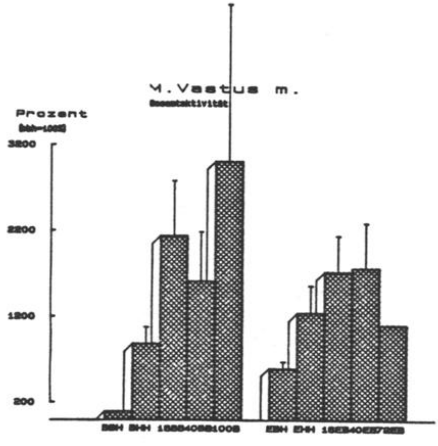
integrierten Innervationsmusters in den Phasen VOR, REFL, WILLK (Abb. 6/7A,B,C).

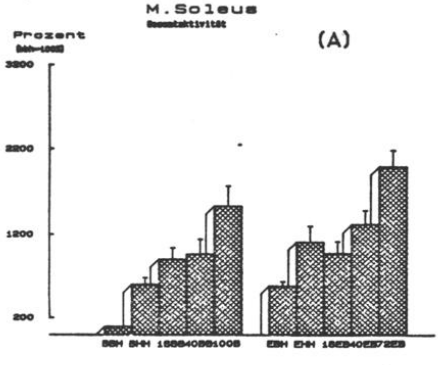
In Abb. 6/7A,B,C(III) sind die Prozentquoten in den drei Aktivierungsphasen in Abhängigkeit von der Gesamtaktivität einer spezifischen angebotenen Sprungform graphisch zusammengestellt.

Der M. Soleus, als eingelenkiger Muskel direkt an der Achillessehne inserierend, zeigt mit zunehmender Sprungbelastung sowohl bei beidbeiniger als auch bei einbeiniger Landung einen prozentualen steigenden Anteil der Voraktivität an der Gesamtinnervation. Im Gegensatz dazu weist die Aktivierung während der reflektorischen Phase mit steigender Sprungbelastung ein nahezu lineares Abnahmeverhalten auf. Außer bei Sprunghöhen aus 100cm Absprunghöhe mit beidbeiniger Landung ist der Anteil während der dritten EMG-Phase relativ unabhängig von der jeweiligen Sprungbedingung.

Der M. Gastrocnemius, als zweigelenkiger Muskel, Flexor im Knie- und Extensor im Fußgelenk, zeigt bezüglich der Voraktivität in den angebotenen Sprungbedingungen einen wesentlich höheren Aktivierungsanteil zur Gesamtaktivität (Abb.6/7B). Während der M. Soleus in dieser Phase nur mit 7,4% (bbH) und 20,6% (100bb) zur Gesamtaktivität beiträgt, werden beim M. Gastrocnemius zwischen 26% und 33% der Gesamtaktivität noch vor dem Auftreffen der Beine auf dem Boden innerviert. Im Gegensatz zum M. Soleus scheint das ansteigende Aktivierungsverhalten beim M. Gastrocnemius jedoch nur gering ausgeprägt.

(C)





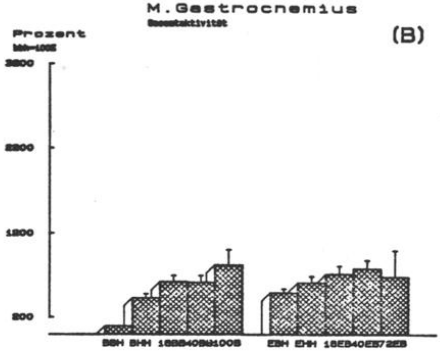
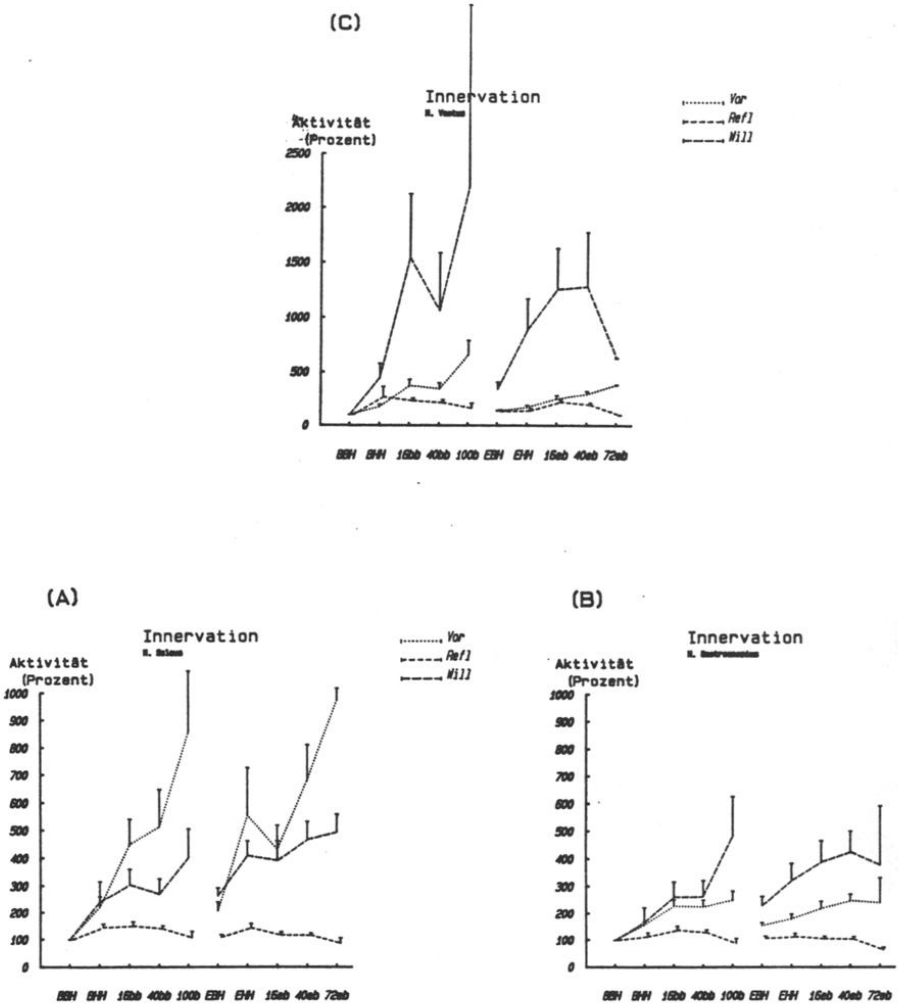


Abb. 6/7A,B,C: Quantitative Analyse der Beinextensoren (M. Soleus (A); M. Gastrocnemius (B); M. Vastus m. (C)) beim Springen mit unterschiedlichen Dehnungsbelastungen.
(I) Integral der Gesamtaktivität (bbh = 100 %) (Mittelwerte und Standardfehler) (n = 15)



(II) Integral der drei Phasen im EMG (VOR, REFL, WILLK) (bbh = 100 %) (Mittelwerte und Standardfehler) (n=15)

(C)

VASTUS MEDIALIS

INNERVATION
%
100
75
50
25
0

BSH BHH 1BSB 4OSB 1OOB EBH EHH 1BEB 4OEB 7OEB

CONDITION

(A)

SOLEUS

INNERVATION
%
100
75
50
25
0

BSH BHH 1BSB 4OSB 1OOB EBH EHH 1BEB 4OEB 7OEB

CONDITION

(B)

GASTROCNEMIUS

INNERVATION
%
100
75
50
25
0

BSH BHH 1BSB 4OSB 1OOB EBH EHH 1BEB 4OEB 7OEB

CONDITION

(III) Prozentuale Aufteilung der Aktivierung in die drei EMG-Phasen (Mittelwerte und Standardabweichungen) (n=15)

Eine deutliche Verschiebung der Innervationsanteile erfolgt am M. Gastrocnemius bei mittleren Sprungbelastungen zwischen den Prozentquoten der reflektorischen Phase und den Anteilen späterer Aktivierungsphasen. Während der Anteil der reflektorischen Phase von 45,3% (bbH) auf 17,4% (100bb) bzw. von 32,7% (ebH) auf 16,5% (72eb) absinkt, erhöht sich der Prozentsatz in der WILLK-Phase von 28% (bbH) auf 52,6% (100bb) bzw. von 32,7% (ebH) auf 51,8% (72eb).

Ein ähnliches Innervationsverhalten weist der M. Vastus m. auf (Abb.6/7C). Hier nimmt die Voraktivität unabhängig von der jeweiligen Sprunghöhe Werte zwischen 5,6% (ehH) und 10,7% (100bb) an. Bis auf die Tiefsprünge aus 40cm Absprunghöhe erscheint das IEMG während der reflektorischen Phase zunehmend verringert (64,5% (bbH) bis 26,0% (100bb) bzw. 50,1% (ebH) bis 25,4% (72eb)), wohingegen die Innervation nach dieser Phase mit steigender Absprunghöhe höhere Anteile an der Gesamtaktivität einnimmt (26,0% (bbH) bis 63,2% (100bb) bzw. 42,4% (ebh) bis 65,5% (72eb)).

In Abb. 6/7 I und II sind die quantitativen Veränderungen des Innervationsverhaltens in Abhängigkeit von der steigenden Dehnungsbelastung dargestellt. Bezieht man die Ausprägung des integrierten EMG's der einzelnen Phasen auf die Gesamtaktivität, so könnten zusätzlich die prozentualen Innervationsanteile (Abb. 6/7 III) für qualitative Aussagen herangezogen werden.

Die Gesamtaktivierung während einer Sprungsituation ist in Abhängigkeit von der Dehnungsbelastung am stärksten beim M. Vastus m. ausgeprägt. Setzt man die Gesamtaktivierung des beidbeinigen Hüpfens als Normgröße (= 100 %) fest, so ist bei hohen Dehnungsbelastungen der M. Vastus m. mit dem 32-fachen, der M. Gastrocnemius mit dem 8-fachen und der M. Soleus mit dem 16-fachen Aktivierungsvolumen innerviert.

Beim Vergleich innerhalb der ein- und beidbeinig absolvierten Sprünge zeigte sich, daß der M. Soleus bei Halbierung des tendo-muskulären Potentials mit relativer Aktivitätszunahme reagiert, der M. Gastrocnemius ungefähr das Input-Volumen beibehält, während am M. Vastus m. deutliche Reduktionen bei einbeinigen Landungen zu verzeichnen sind. Eine weitere Betrachtungsebene kann gewonnen werden, wenn man die einzelnen funktionellen Zeitphasen im EMG belastungsspezifisch auf die jeweilige Ausprägung beim beidbeinigen Hüpfen bezieht. Wie aus Abb. 6/7 A,B,C II hervorgeht, sind die beobachteten Zunahmen im EMG muskelspezifisch auf die einzelnen funktionellen Phasen aufgeteilt. Während der M. Soleus das Voraktivierungsvolumen am deutlichsten vergrößert, ist die Zunahme der Gesamtaktivität am M. Gastrocnemius hauptsächlich auf die erste (VOR) und die letzte (WILLK) EMG-Phase konzentriert. Der M. Vastus dagegen reagiert sehr sensitiv mit der Zunahme in späten Aktivierungsphasen.

6.3.2 Der Einfluß unterschiedlicher Auftreffunterlagen auf das Innervationsmuster der Beinextensoren

Diese Untersuchungsserie stand unter der Fragestellung, wie sich unterschiedliche elastische Eigenschaften der Auftreffunterlagen auf die Ausprägung der neuronalen Aktivierung der Beinextensoren auswirken. Die Untersuchung war so angelegt, daß in jeder der vier Bedingungen - Boden, Sprungbrett 1, Sprungbrett 2, Minitrampolin - jeweils 32 Sprünge aus einer konstanten Fallhöhe von 25cm gesprungen wurden. Die Sprünge sollten so durchgeführt werden, daß ohne Verzögerung aus der Einsprung- in die Absprungbewegung übergegangen wur-

de.

Da die einzelnen Auftreffunterlagen nur teilweise Kontakt mit der Meßdruckplatte hatten, konnte eine Analyse der Kraftkennwerte nicht durchgeführt werden. In dieser Untersuchung wurde deshalb das Kraft-Zeit-Verhalten lediglich zur Ermittlung von Beginn und Ende des Bodenkontaktes herangezogen.

Abb. 6/8A zeigt exemplarisch die Veränderungen im Kniegelenk bei einer Vp während der Landephase in allen vier Versuchsbedingungen. Die Pfeile markieren jeweils den ersten und letzten Kontakt mit der Auftreffunterlage. Die Ergebnisse aller Vpn sind in Abb. 6/8B zusammengestellt. Während der Kniegelenkwinkel weder zu Beginn noch am Ende der Kontaktphase eine Unterlagen-spezifische Variation aufzeigt, ist die Amplitude im Kniegelenk während der Kontaktphase deutlich von der Beschaffenheit der Auftreffunterlage abhängig. Da zu Beginn der Landung das Kniegelenk stärker gebeugt ist als beim Absprung von der Unterlage, ist die Amplitude während der exzentrischen Phase der Bewegung signifikant geringer als die Amplitude während der konzentrischen Phase.

In Abb. 6/8B sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der ermittelten Kniegelenkwinkel dargestellt. Zusätzlich wurde die Amplitude der Gelenkveränderungen während der exzentrischen und der konzentrischen Bodenkontaktphase errechnet. Die daraus ermittelbaren mittleren Winkelgeschwindigkeiten $-w_{ein}$ bzw. w_{aus} - in der Dehnungs- bzw. Entdehnungsphase sind bei der Landung auf dem Boden mit 345,34 $^{\circ}$/s +/- 95,78 $^{\circ}$/s für die exzentrische und mit 402,98 $^{\circ}$/s +/- 76,9 $^{\circ}$/s für die konzentrische Bewegung maximal, bei der Landung auf dem Minitrampolin mit 86,00 $^{\circ}$/s +/-58,00 $^{\circ}$/s für die exzentrische und mit

68,00 °/s +/- 25 °/s für die konzentrische Phase minimal. Aufgrund der unterschiedlich ausgeprägten Amortisations- bzw. Beschleunigungsfähigkeit der einzelnen Vpn weisen diese Werte große Streubreiten auf, sie zeigen jedoch im Mittel eine deutliche Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Auftreffunterlage.

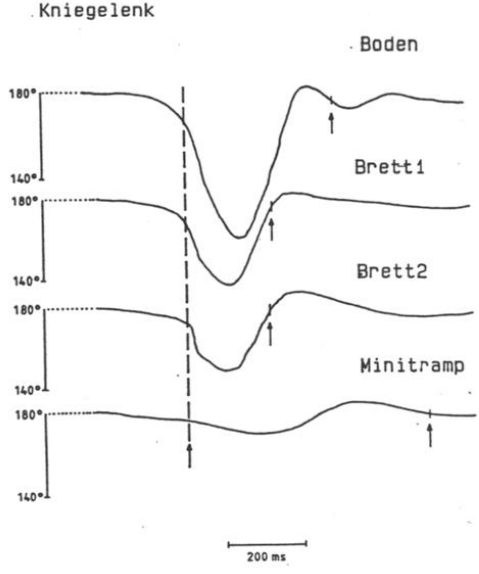


Abb. 6/8A: Exemplarische Darstellung der Winkel-Zeit-Kurven im Kniegelenk während der Landung auf den vier Auftreffunterlagen. Die Pfeile markieren den ersten und letzten Kontakt mit der Auftreffunterlage

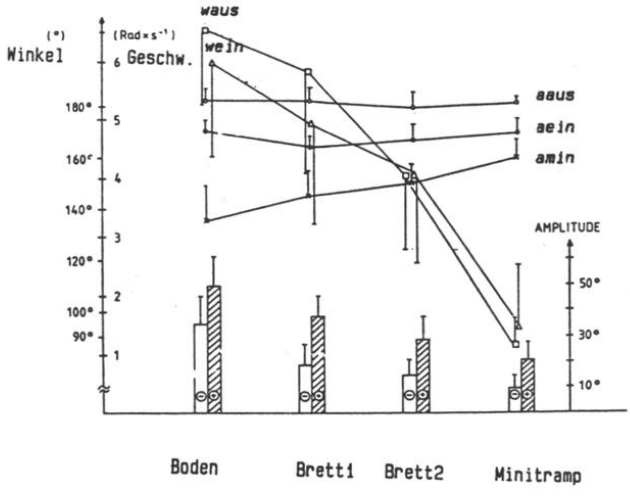


Abb. 6/8B: Mittelwerte (+Standardabweichung) der Stellungen im Kniegelenk zu Beginn der Landung (aein), bei maximaler Flexion (amin), und beim Verlassen der Sprungunterlage (aaus). Die Säulendiagramme beschreiben die Mittelwerte der Amplitude im Kniegelenk während der exzentrischen (-) und der konzentrischen (+) Kontaktphase.
Die mittleren Winkelgeschwindigkeiten während der exzentrischen (wein) und während der konzentrischen (waus) Phase in den vier Bedingungen sind als Mittelwerte (+Standardabweichung) eingezeichnet

Die Analyse des Oberflächenelektromyogramms des M. Gastrocnemius wurde durch die elektronische Aufsummierung und Mittelung gleichgerichteter Roh-EMG-Signale durchgeführt. Abb. 6/9 zeigt exemplarisch die gemittelten Innervationsmuster einer Vp in den vier angebotenen Sprungbedingungen. Aus dieser Abbildung können folgende Beobachtungen abgeleitet werden:

1.) In allen Versuchsbedingungen beginnt die Aktivierung bereits vor dem Bodenkontakt. Dieser von der Ruheaktivität des Muskels deutlich vergrößerte Innervationsanstieg beginnt bei den Bedingungen Boden,

Sprungbrett 1 und Sprungbrett 2 ca. 140ms - 130ms vor dem Auftreffen auf dem Boden, bei der Bedingung Minitrampolin ist dieser Zeitraum mit 76,9ms deutlich verkürzt.

Betrachtet man jedoch die Anstiegssteilheit in dieser Aktivitätsphase, kann festgestellt werden, daß mit zunehmender Härte der Auftreffunterlage die Aktivierung des M. Gastrocnemius entsprechend steiler verläuft.

2.) Während in den Versuchsbedingungen Minitrampolin und Sprungbrett 2 der Aktivitätsanstieg nach dem Auftreffen auf der Sprungunterlage kontinuierlich bis zum Maximum zunimmt, ist bei der Landung auf dem Sprungbrett 1 bereits ein Plateau im EMG zum Zeitpunkt des ersten Auftreffens auf dem Boden angedeutet. Bei den Sprüngen mit Landung auf dem Boden ist bereits vor Bodenkontakt (50ms - 30ms) eine Reduktion im EMG des M. Gastrocnemius über eine Dauer von 100 - 150ms zu beobachten.

3.) Ungefähr 30 - 40ms nach Bodenkontakt sind scharfe, deutlich segmentierte Aktivitätsspitzen im EMG zu erkennen.

Die Zeitspanne von ca. 40ms zwischen dem Auftreffen der Füße auf dem Boden und der damit einsetzenden Dehnung des Triceps surae und dem ersten Auftreten dieser Aktivitätsspitzen stimmt mit der Leitungszeit für den spinalen monosynaptischen Dehnungsreflex überein, so daß zumindest die erste Aktivitätsspitze mit dem spinalen Dehnungsreflex in Verbindung gebracht werden könnte.

Sowohl der Beginn als auch das Ende dieser Aktivitätsspitzen stimmt bei allen Vpn und allen Sprungbedingungen mit der in der Literatur vorgeschlagenen Zeiteinteilung für die SLC (short-latency-component), MLC (medium-latency-component) und LLC (long-latency-component) der

Reflexaktivität überein, so daß eine entsprechende Nomenklatur dieser drei Aktivitätsspitzen vorgenommen werden kann.

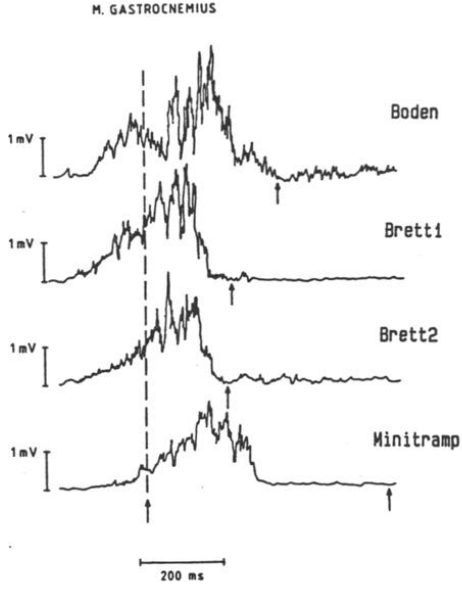


Abb. 6/9: Exemplarische Darstellung der EMG-Aktivität des M. Gastrocnemius einer Vp bei der Landung auf den analysierten Sprungunterlagen (n = 32). Die Pfeile markieren den ersten und letzten Kontakt mit der Sprungunterlage

4.) Betrachtet man den Zeitraum zwischen dem Ende der EMG-Aktivität und dem Lösen von der Sprungunterlage (Absprung nach oben siehe Hinweis-Pfeil in Abb. 6/9), kann eine Abhängigkeit von der jeweiligen Sprungbedingung festgestellt werden. Während bei der Sprungbedingung "Boden" die Aktivierung des M. Gastrocnemius bis zum Ende der Kontaktphase aufrecht erhalten wird, erscheint dieser Zeitraum mit zunehmen-

der Nachgiebigkeit der Sprungunterlage deutlich vergrößert. Bei der Landung auf dem Minitrampolin ist der M. Gastrocnemius nur während der ersten Hälfte der Kontaktphase aktiviert.

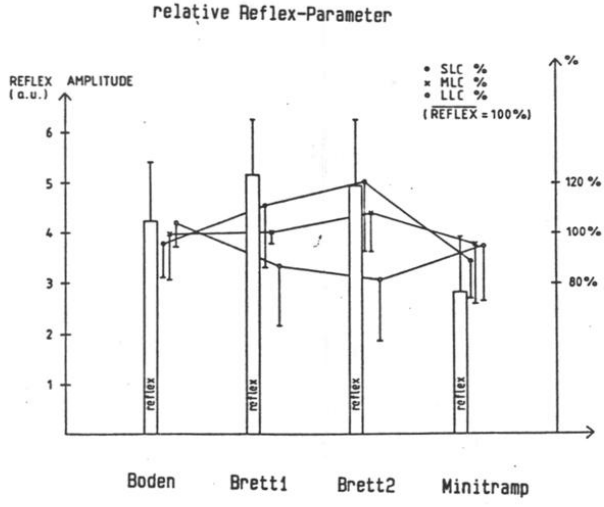


Abb. 6/10: Graphische Darstellung der wichtigsten Reflexparameter (M. Gastrocnemius).
Die Höhen der Säulen repräsentieren die mittleren Amplituden der SLC-, MLC- und LLC-Komponente im EMG-Muster. SLC%, MLC% und LLC% beziehen sich auf den prozentualen Anteil einer entsprechenden Komponente in einer der vier Untersuchungsbedingungen (REFLEX = 100%)

Die Analyse der mittleren EMG-Muster hinsichtlich der Reflexaktivität und deren Komponenten (SLC, MLC und LLC) erbrachte folgende Ergebnisse:

Die Reflexaktivität (abgeschätzt als Mittelwert der Amplituden von SLC, MLC und LLC) ist bei der Landung auf dem Sprungbrett 1 mit 5,14

+/- 1,123 A.U (arbitrary unit) am größten, gefolgt von Sprungbrett 2 mit 4,974 +/- 1.311 A.U.. Deutlich geringer ausgeprägt ist die Reflexamplitude mit 4,30 +/- 1,20 A.U. bei der Landung auf dem Boden und mit 2,87 +/- 1,18 A.U. auf dem Minitrampolin (Abb. 6/10).

Die prozentuale Verteilung dieser Reflexkomponenten (Reflex = 100%) ergibt, daß die SLC und LLC eine deutliche Abhängigkeit von der jeweiligen Auftreffunterlage mit gegenläufiger Tendenz aufweisen, die MLC jedoch nur geringen Schwankungen um die 100%-Marke in den einzelnen Versuchsbedingungen unterworfen ist. Dabei fällt auf, daß der relative Anteil der drei Reflexkomponenten bei der härtesten und bei der weichsten Sprungunterlage nahezu gleich verteilt ist.