
Kurz- und langfristige Trainingseffekte durch mechanische und elektrische Stimulation auf kraftdiagnostische Parameter

Jochen Mester (Projektleiter), S. Nowak, J. Schmithüsen, Heinz Kleinöder & U. Speicher

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainingswissenschaften und Sportinformatik

Einleitung

Die Entwicklung der individuellen Bestleistung im Leistungssport sollte auf der Basis einer effektiven Trainingsregulation erfolgen. Voraussetzungen dafür sind eine kontinuierliche, differenzierte Leistungsdiagnostik und eine konsequente Umsetzung der daraus resultierenden Ergebnisse in den aktuellen Trainingsprozess. Auf diese Weise können Entwicklungen sachgerecht im Längsschnitt beobachtet und Reize individuell gesetzt und angepasst werden. Insbesondere im Bereich der Krafftfähigkeiten erfolgt bislang eine professionelle Umsetzung dieses generellen Ansatzes eher selten bzw. nur in Ansätzen. Dabei nehmen die verschiedenen Dimensionen der Kraft eine häufig diskutierte Rolle im Trainingsprozess vieler Sportarten ein.

So verbleibt trotz der Vielzahl an Untersuchungen über das Krafttraining die Problematik, dass der mechanische Stimulus aus kinematischen und kinetischen Variablen (Kraft, Kontraktionsdauer, Leistung, Arbeit etc.), der zu kraftspezifischen Anpassungserscheinungen führt, weitgehend ungeklärt ist (Crewther et al., 2005). Weiterhin sind die Beschreibungen der Belastungsnormative von Kraftübungen in der Literatur nicht hinreichend, um die jeweiligen Trainingsreize detailliert zu definieren und kausale Verbindungen zwischen „mechano-biological conditions“ und strukturellen, kontraktile und metabolischen Anpassungserscheinung zu schaffen (Toigo & Boutellier, 2006). Die Interpretation von zahlreichen Untersuchungen zum Krafttraining wird dadurch limitiert, so dass das Verständnis, wie Kraft und Leistung gezielt gesteigert werden können, unklar bleibt. So ergeben Untersuchungen sowohl bei 70 % als auch unter 45 % des 1-RMs Effekte, die der Hypertrophie zugeschrieben werden. Verschiedene Autoren sprechen bei Zusatzlasten von z. B. unter 67 % des 1-RMs von Kraftausdauertraining (Baechle et al., 2000; Kraemer et al., 2002). Der mechanische Leistungs-Output des Muskels wird ebenfalls auf einer großen Spannbreite von 45 % bis über 70 % beschrieben.

Dementsprechend ist es ein wesentliches Ziel des Forschungsprojektes klassische und moderne Kraftparameter, wie zum Beispiel Maximalkraft, maximale Leistung, Impuls, rate of force development (RFD) und rate of power development (RPD) etc., in ihrer Entwicklung durch mechanische und elektrische Stimulation im Detail zu untersuchen. Die Trainingsstimuli werden dabei durch ein Biofeedbackverfahren mit methodenspezifischer Standardisierung von Einzelwiederholungen intra- und interindividuell kontrolliert, damit sie den Ergebnissen der Kraftdiagnostik explizit zugeordnet werden können. Auf dieser Basis sollen differenzierte Trainingskonzepte für die Praxis offengelegt werden, die eine effektive Trainingsregulation im Krafttraining als wesentliche Grundvoraussetzung für den Leistungssport ermöglicht.

Methodik

Das Probandenkollektiv (N = 80) setzte sich aus Sportstudenten der Deutschen Sporthochschule Köln zusammen und wurde in 8 verschiedene Trainingsgruppen randomisiert. Folgende Trainingsgruppen wurden angesetzt: Hypertrophie, Maximalkraft, Schnellkraft, Kraftausdauer, EMS, Vibration, EMS/Hypertrophie und Vibration/Hypertrophie (Tab. 1). Die Probanden bescheinigten alle Sporttauglichkeit und eine Krafttrainingserfahrung von mindestens zwei Jahren.

Tab. 1: *Probandenkollektiv*

Trainingsgruppe	N	Alter [Jahre]	Größe [m]	Gewicht [kg]
1. Hypertrophie	10	22,30 +/-2,06	1,78 +/- 0,09	76,75 +/- 10,77
2. Maximalkraft	11	22,55 +/- 1,81	1,76 +/- 0,09	69,08 +/- 10,34
3. EMS	9	24,4 +/- 3,50	1,75 +/- 0,09	73,75 +/- 13,57
4. EMS/Hypertrophie	10	22,80 +/- 2,40	1,80 +/- 0,08	71,58 +/- 14,15
5. Schnellkraft	10	23,90 +/-3,25	1,76 +/- 9,22	69,60 +/- 11,26
6. Kraftausdauer	11	26,40 +/- 7,79	1,76 +/- 7,73	72,50 +/- 12,29
7. Vibration	9	24,60 +/- 3,53	1,78 +/- 9,04	73,60 +/- 10,51
8. Vibra/Hypertrophie	10	23,91 +/- 3,02	1,78 +/- 6,03	73,09 +/- 8,87

Der Gesamtzeitraum der Studie betrug sieben Wochen. Innerhalb dieser Zeit wurden nach einer Woche Eingewöhnung drei Kraftdiagnostiken durchgeführt. Die Kraftdiagnostik fand vor dem ersten Training (Pretest), nach der Trainingsperiode (Posttest) und nach einer zweiwöchigen Regenerationsphase statt (Retest). Die vier Wochen lang andauernde Trainingsperiode wurde mit einer Trainingshäufigkeit von zwei Einheiten pro Woche durchgeführt.

Die Kraftdiagnostik und das klassische Training fand an der Leg Extension und an der Leg Curl Machine der Firma gym80 International statt. Beide Geräte sind mit einem Kraft- und einem Wegsensor ausgestattet. Mithilfe des Digimax-Messsystems der Firma mechaTronic konnten die Rohdaten der Diagnostik digitalisiert, verwaltet und ausgelesen werden. Der Ablauf jeder Kraftdiagnostik erfolgte nach einem Aufwärmen auf einem Fahrradergometer anhand eines standardisierten Protokolls:

- Lokales Aufwärmen am Gerät mit leichter Zusatzlast und 15 Wiederholungen
- 3 isometrische Tests in einer definierten Winkelstellung
- 1 isometrischer Test (in der Ausgangsstellung der dynamischen Diagnostik) zur Bestimmung der Zusatzlast für die dynamischen Tests
- 6 dynamische Tests aus einer definierten Winkelstellung mit verschiedenen Zusatzlasten (40 % und 60 % RM) über das volle Bewegungsausmaß
- Die Pausenzeit zwischen den Versuchen betrug 30 Sekunden.

Die Winkelstellung der isometrischen Messungen wurden in einer Position gewählt, in der die Probanden maximale Kraftwerte erreichen können: Leg Extension 120° innerer Kniewinkel, Leg Curl 150° innerer Kniewinkel (Kraemer et al., 2006). Die Pro-

banden hatten die Aufgabe, so fest wie möglich gegen den Widerstand zu drücken. Dabei sollte die Maximalkraft möglichst schnell entfaltet werden. Die Winkelstellung für den 4. isometrischen Krafttest und die dynamischen Tests orientierte sich am Ausgangspunkt für die maximalen Rangs of Motion der dynamischen Bewegungen: Leg Extension 90° innerer Kniewinkel, Leg Curl 170° innerer Kniewinkel. Die Instruktion für die dynamische Versuchsdurchführung wurde wie folgt festgelegt: „So schnell wie möglich das Gewicht konzentrisch bewegen!“

Die gewählten Belastungsnormative für die acht Trainingsgruppen entsprachen durchschnittlichen Methodendesigns aus der Literatur (Bird et al., 2005; Boeckh-Behrens & Mainka, 2006). Die trainingsgruppenspezifischen Merkmale sind entsprechend der Forderungen von Toigo und Boutellier (2006) differenziert aufgeführt und für die modernen Trainingsformen erweitert worden. Die Reizkonstellation des Krafttrainings wurde für alle getesteten Gruppen mit Hilfe eines computergesteuerten Biofeedbackverfahrens kontrolliert und standardisiert. Das Biofeedback ermöglicht die Vorgabe einer spezifischen Bewegungsgeschwindigkeit in allen Bewegungsphasen (konzentrisch, exzentrisch und isometrisch) und die individuelle Einstellung der Bewegungsweite (range of motion). Zur Ermittlung des jeweiligen Trainingsgewichtes in % wurde das 1RM (one repetition maximum) vor dem ersten Training bestimmt. Tab. 2 zeigt die Belastungsnormative für die klassisch trainierenden Gruppen an.

Tab. 2: *Trainingsgruppenspezifische Merkmale Klassisch*

Belastungsnormative	Hyper-trophie	Maximal-kraft	Schnell-kraft	Kraftaus-dauer
Ausmaß der Zusatzlast	60% RM	90% RM	50% RM	30% RM
Anzahl der Wiederholungen	10	3	6	15
Anzahl der Serien	3	3	3	3
Pause zwischen den Serien	1	3	3	1
Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche	2 Trainingseinheiten			
Dauer des gesamten Trainingszeitraums	4 Wochen			
Zergliederung einer einzelnen Wiederholung in die Kontraktionsformen und deren zeitliche Dauer in Sekunden	kon 2 iso 0,5 exz 4 iso 0,5	kon 0,2 iso 0,5 exz 2 iso 0	kon 0,1 iso 0,5 exz 1 iso 0	kon 4 iso 0,5 exz 4 iso 0,5
Pause zwischen den Wiederholungen	-			
Zeit unter Spannung (TUT)	210 s	24,3 s	28,8 s	405 s
Bewegungsausmaß	<ul style="list-style-type: none"> Beinstreckmuskulatur: 90°-170° Beinbeugemuskulatur: 170°-90° 			
Trainingspause zwischen den Trainingseinheiten	<ul style="list-style-type: none"> Mind. 48 Stunden 			
Übungsauswahl und Reihenfolge	-			

Tab. 3 zeigt die Belastungsnormative für die mit der modernen Krafttrainingsmethode EMS belasteten Gruppen an. Beim EMS-Training musste die Einstellung der Impulsintensität bei jeder Einheit individuell angepasst werden. Die Elektroden sind bei der Stimulation um den Muskelbauch herum gelegt worden. Durch die Elektrostimulation (miha bodytec) wurden die Gesäß-, die Ober- und Unterschenkelmuskulatur gleichzeitig stimuliert (m. quadriceps femoris, m. biceps femoris, m. gluteus maximus, m. triceps surae, m. tibialis anterior, m. extensor digitorum longus, m. extensor hallucis longus). Die Belastungsnormative für die mit der modernen Krafttrainingsmethode Vibration auf der Power Plate pro5 AIRdaptive belasteten Gruppen ist ebenfalls in Tab. 3 eingetragen. Als besondere Belastungsparameter sind die Frequenz und die Amplitude zu nennen.

Tab. 3: *Trainingsgruppenspezifische Merkmale Modern*

Belastungsnormative	EMS	Vibration
Ausmaß der Zusatzlast	-	
Anzahl der Wiederholungen	10 Wiederholungen	
Anzahl der Serien	3 Serien	
Pause zwischen den Serien	1 Minute	
Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche	2 Trainingseinheiten	
Dauer des gesamten Trainingszeitraums	4 Wochen	
Zergliederung einer einzelnen Wiederholung in die Kontraktionsformen und deren zeitliche Dauer in Sekunden	2 exz 1 iso 2 kon 1 iso	
Pause zwischen den Wiederholungen	4 s	-
Zeit unter Spannung (TUT)	180 s	
Bewegungsausmaß	<ul style="list-style-type: none"> • Kniebeugen 170°-90° • Ausfallschritt 170°-90° 	
Trainingspause zwischen den Trainings-einheiten	Min. 48 Std	
Übungsauswahl und Reihenfolge	-	
Impulsart	bipolar	-
Impulsintensität	individuell submaximal	-
Impulsbreite	350 µs	-
Impulsanstieg	rechteckförmig	-
Stimulationsfrequenz	80 Hz	-
„Duty Cycle“	40 %	-
Frequenz	-	35 Hz
Amplitude	-	high
AIRdaptive Level	-	3

3. Ergebnisdarstellung und Diskussion

Die analytische Auswertung der Untersuchungsdaten erfolgte mit dem Computerprogramm „STATISTICA 7.1“ der Firma StatSoft (USA, Tulsa) und „Microsoft Excel 2007“. Im Rahmen der analytischen Statistik wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung für die jeweiligen Trainingsgruppen durchgeführt. Bei Erreichen eines signifikanten F-Wertes wurde das Tukey Honestly Significantly Different (HSD) Post-hoc Verfahren eingesetzt ($p \leq 0,05$).

Als *Hauptergebnis* ist festzustellen, dass sich die Trainingsformen jeweils *methodenspezifisch* auf die verschiedenen Kraftparameter sowie auf dynamische Fähigkeiten auswirken. Hinsichtlich der Effektivität zeigen sich im Gesamteindruck bei der Hypertrophiegruppe die meisten signifikanten Ergebnisse. Diese äußern sich in verbesserten Werten hinsichtlich Maximalkraft, Impuls und maximaler Leistung. Es sind in dieser Trainingsgruppe signifikante Verbesserungen der Beinbeuge (+ 16 %) und der Beinstreckmuskulatur (+ 13 %) festzustellen. Bei der gemischten Gruppe (Hypertrophie /Vibration) sind vergleichbare Effekte (+ 7 %; + 15 %) wie bei der Hypertrophiegruppe festzustellen. Bei der Vibrationsgruppe lagen in erster Linie spezifische Anpassungen der Maximalkraft bei der Beinstreckmuskulatur vor (+ 6 %). Bei der Beinbeugemuskulatur hingegen zeigten sich keine signifikanten Veränderungen. Ein direkter Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit Ergebnissen aus der Literatur ist nur eingeschränkt möglich, da in den unterschiedlichen Untersuchungen mit z. T. sehr verschiedenen Trainingsdesigns (Zusatzlast, unterschiedliche Übungsauswahl, Amplitude, Frequenz etc.) gearbeitet wurde. Zudem findet sich keine Studie, in der eine Standardisierung der Bewegungsgeschwindigkeit oder des Bewegungsausmaßes (range of motion) durchgeführt wurde. Die Belastungsnormative der EMS-Gruppe, die für die vorliegende Studie ausgesucht wurden, bieten einen positiven Stimulus für neuromuskuläre Verbesserungen hinsichtlich der Maximalkraft. Das zeigte sich an der signifikanten Adaptation der Beinbeugemuskulatur (+ 9 %). Im Vergleich mit dem klassischen Training sind die Kraftzuwächse aber deutlich geringer. Verschiedene Untersuchungen aus der Literatur kommen ebenfalls zu dem Schluss, dass sich ein klassisches Krafttraining effizienter auf die F_{\max} auswirkt als ein EMS-Training und stehen damit im Einklang mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit (Hortobagyi et al., 1992; Kramer, 1987; Westing et al., 1990). Die Elektrostimulationsgruppen zeichnen sich aber insbesondere durch eine Verbesserung der Geschwindigkeit im Langzeiteffekt (Retest: + 21 %) bei dynamischer Kraftdiagnostik aus.

Bei detaillierterer Betrachtung der Hauptergebnisse sind die *muskel-spezifischen Anpassungserscheinungen* in der Studie besonders hervorzuheben. Die *Beinstreckmuskulatur* zeigt differenzierte Ergebnisse in der Isometrie (Abb. 1 zeigt beispielhaft die Anpassungserscheinungen F_{\max} der Vibrations- (+ 6 %), Vibrations/Hypertrophie- (+ 15 %) im Vergleich zur Hypertrophiegruppe (+ 13 %)). Die *Beinbeugemuskulatur* zeigt spezifische Anpassungen innerhalb der dynamischen Kraftdiagnostik (Abb. 2 zeigt beispielhaft die Anpassungserscheinungen P_{\max} der EMS- (+ 29 %), EMS/Hypertrophie- (+ 12 %) im Vergleich zur Hypertrophiegruppe (+ 18 %)). Diese Ergebnisse sind ursächlich auf die muskel-spezifischen Anforderungsprofile zurückzuführen (Beinstreckmuskulatur: viele exzentrische, hohe Kraftstöße; Beinbeuge-

muskulatur: dynamische Beanspruchung mit mittleren Kraftanforderungen), die in der Sportpraxis bei klassischen, sportartspezifischen Bewegungen, wie z. B. dem Sprint oder bei Sprüngen zum Ausdruck kommen. Dabei wirken bei der Beinstreckung exzentrische Kräfte mit hohen Kraftstößen, während die Beinbeugemuskulatur häufig die Bremsfunktion übernimmt, bei der der Kraftaufwand oft geringer ausfällt (Tittel, 2003). Daraus lässt sich ableiten, dass die Funktionsweise der jeweiligen Muskulatur bei der Aufstellung von Trainingsdesigns zukünftig stärker bedacht werden sollte.

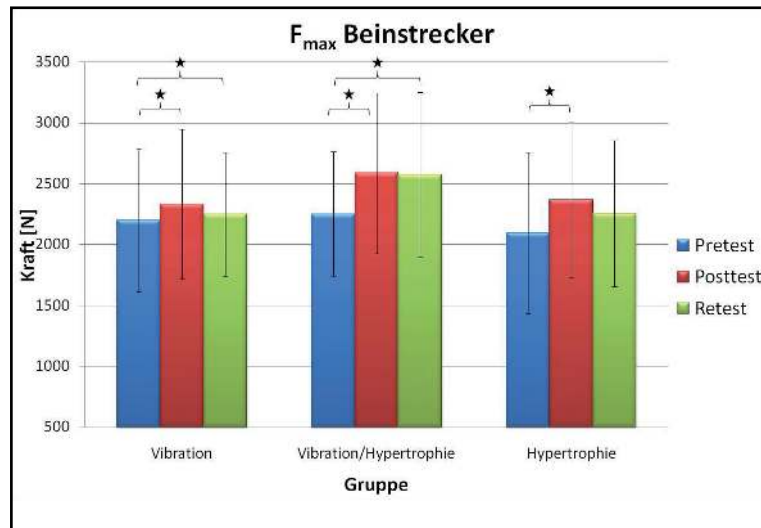


Abb. 1: Beinstreckmuskulatur Vibration: MW und SD der isometrischen Maximalkraft (F_{max} [N])

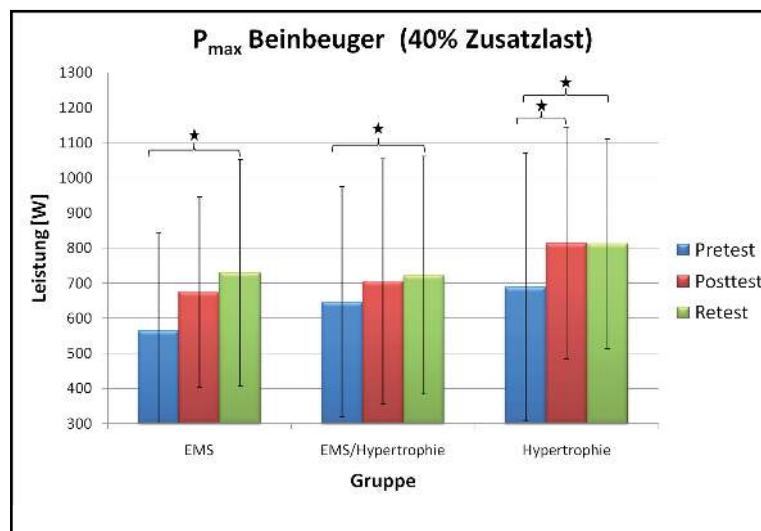


Abb. 2: Beinbeugemuskulatur EMS: MW und SD der maximalen Leistung (P_{max} [W]) bei 40 % Zusatzlast)

In der muskelspezifischen Betrachtung der *Beinstreckmuskulatur* ist auffällig, dass die Steigerungen der isometrischen Maximalkraft scheinbar unabhängig der Belas-

tungsnormative der klassischen Trainingsgruppen ausfallen. Alle Gruppen bewegen sich in einer Steigerung von 11 % bis 14 %. Im Rückschluss auf eine alleinige Betrachtung der Maximalkraftwerte an der Beinstreckmuskulatur bedeutet dies, dass Trainingsgrößen wie die Zusatzlast, die Serien-, Wiederholungszahl, die Pausenzeit, die Kontraktionsformen, die Bewegungsausführung und die TUT nicht entscheidend für den Ausprägungsgrad der Anpassung sind. Die Schnellkraftgruppe steigert sich z. B. vom Eingangs- zum Ausgangstest um 14 % die Hypertrophiegruppe um 13 %. Im Vergleich der Trainingsausführung weisen beide Gruppen ähnliche Zusatzlasten von 50 % und 60 % des 1RM auf. Deutliche Unterschiede bestehen aber bezüglich der Wiederholungszahl (6 zu 10), der Kontraktionsformen (kon 0,1 - iso 0,5 - exz 1 - iso 0 zu kon 2 - iso 0,5 - exz 4 - iso 0,5), der Bewegungsausführung (ballistisch zu nicht ballistisch) und der TUT (28,8 s zu 210 s). Werden die Maximalkraft- (11 %) und die Kraftausdauergruppe (8 %) in diesen Vergleich mit einbezogen, ist auch die Zusatzlast auf eine Spannbreite von 30 % bis 90 % des 1RM zu erweitern. So führen verschiedene kinetische und kinematische Kombinationen der unterschiedlichen Trainingsgruppen zu einem vergleichbaren Trainingseffekt an der Beinstreckmuskulatur. Bezüglich der Beinbeugemuskulatur ist festzustellen, dass nur die kinetische und kinematische Kombination der Maximalkraft- und Hypertrophiegruppe zu einer signifikanten Verbesserung der Maximalkraftwerte führt.

Ein weiteres bemerkenswertes Ergebnis für die Beinstreckmuskulatur ist, dass klassische Trainingsformen mit einer hohen „time under tension“, einer verlängerten exzentrischen Phase und einer kontinuierlich langsamen Bewegungsgeschwindigkeit (z. B. Hypertrophie- und Kraftausdauerdesign) eine Verschiebung der isometrischen Kraft-Zeit-Kurve zu höheren Kraftwerten (bis zu + 45 %), größeren Kraftimpulsen (bis zu + 44 %) und höhere RFD (bis zu + 54 %) insbesondere zu frühen Zeitpunkten (F30, F50, F100, F200, F500) aufweisen (siehe Abb. 3). Allen anderen Gruppen (Maximalkraft, Schnellkraft und gemischte Gruppen) gelingt dies erst zu späteren Zeitpunkten (100 ms, 200 ms, 500 ms). So scheint für diese Anpassungen eine langsame und konstante Trainingsausführung über den gesamten „range of motion“ ein hohes Potential zu bieten, da nach Crewther et al. (2005) die Trainingswiederholungen mit einem konstant hohen Beitrag des kontraktiven Bewegungsanteils ohne Beschleunigung oder reaktive Anteile (DVZ) durchgeführt werden. Auf Grund der langsamen Bewegungsgeschwindigkeiten und den geringen Zusatzlasten wären maximale Verbesserungen durch intra- und intermuskuläre Koordination auch nicht zu erwarten. Um eine Verbesserung der RFD zu erzielen, sollten bisher konträre Normative gewählt werden. Schmidtbleicher (2003) empfiehlt eine Kombination aus Maximalkraft- und Schnellkrafttraining. Dies wird durch die Ergebnisse anderer Arbeiten bestätigt (Aagaard et al., 2002; Andersen & Aagaard, 2006). Die Fähigkeit frühe Krafteinsätze zu produzieren ist besonders für Sportarten mit schnellen und kraftvollen Bewegungen von Bedeutung (Schmidtbleicher, 2003), da die Kontraktionszeit dabei häufig unter 250 ms liegt (Aagaard et al., 2002). So könnten Trainingsformen wie das hier gewählte Hypertrophie- und Kraftausdauerdesign zukünftig nicht nur zur Erarbeitung der Basisfähigkeiten Maximalkraft sinnvoll genutzt werden, sondern auch als Grundlage für Schnellkraftfähigkeiten insbesondere im Kindes- und Jugendtraining von Interesse sein.

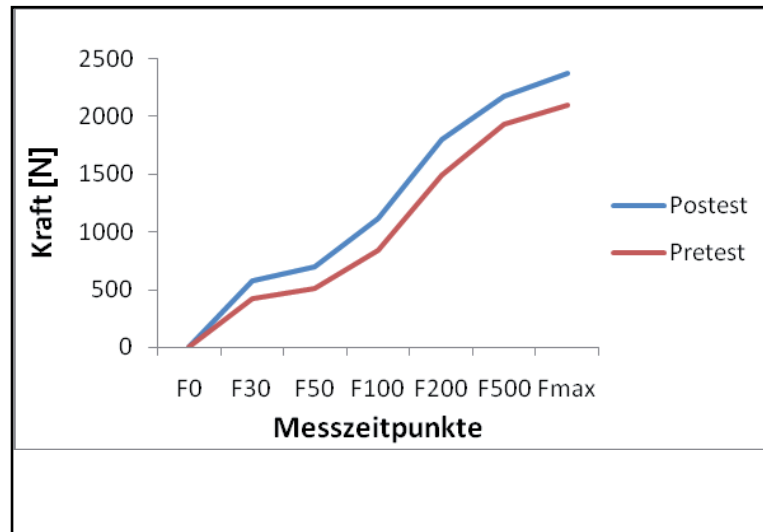


Abb.3: Verschiebung der Kraft-Zeit-Kurve am Beispiel der Bein Streckmuskulatur in der Hypertrophiegruppe

Die muskelspezifische Betrachtung der *Beinbeugemuskulatur* zeigt insbesondere differenzierte Ergebnisse in der dynamischen Testdurchführung. So bewirkte das EMS-Training als einzige Trainingsform einen Anstieg der maximalen Leistungsfähigkeit bei 40 % Zusatzlast (29 %) ausschließlich über die Geschwindigkeitskomponente, die zusammen mit der Kraftkomponente die dynamische Leistungsfähigkeit bestimmt. Interessanterweise konnten selbst Trainingsgruppen mit typischen Schnellkraft- (22 %) oder Maximalkraftdesigns (16 %) die maximale Leistung nur in Verbindung oder ausschließlich über die Kraftkomponente signifikant steigern (siehe Tab. 4 und 5). Crewther, Cronin und Keogh (2005) vermuten, dass diese „Intention“ von größerer Bedeutung sei als die real gegebene Bewegungsgeschwindigkeit. Dem muss mit den hier erhobenen Daten insofern widersprochen werden, als dass die Leistungssteigerung bei der Maximalkraftgruppe bei leichtem Zusatzgewicht in der dynamischen Diagnostik (40 % Zusatzlast) bei der Beinbeugemuskulatur nur auf die Kraftkomponente zurückzuführen ist. Lediglich die Schnellkraftgruppe, die auch im Training eine hohe externe Geschwindigkeit aufweist, zeigt eine Verbesserung der Geschwindigkeitskomponente in der Diagnostik mit 40 % Zusatzlast (10 % im Posttest und 13 % im Retest). So scheint ein dynamisches EMS-Training bei submaximaler Intensität neue Möglichkeiten zur Steigerung der praxisrelevanten maximalen Leistung und vor allem der Geschwindigkeitskomponente zu bieten. Auffällig ist, dass diese signifikanten Anpassungen nur bei geringen Zusatzlasten realisiert werden und für diese Gruppe eine ähnlich langsame Bewegungsausführung wie der Hypertrophiegruppe vorgegeben war. Kreuzer (2006) untersuchte auch die Auswirkungen eines EMS-Trainings auf die P_{max} . Sie kann ebenfalls deutliche Zuwächse erkennen, die aber über die Kraftkomponente erreicht werden. Im Gegensatz dazu bestätigen verschiedene Autoren den positiven Einfluss von EMS-Training auf die Kontraktionsgeschwindigkeit (Colson et al., 2000; Maffiuletti et al., 2000). Der Unterschied zwischen den Studien, die Geschwindigkeitsanpassungen feststellten, und der Studie von Kreuzer (2006) besteht darin, dass zusätzlich zum isometri-

schen EMS-Training ein dynamisches Training, wie in dieser Studie, durchgeführt wurde. Den Mechanismus für Verbesserungen der Geschwindigkeit sehen verschiedene Autoren in der Umkehrung des „Henneman size principle“. Dadurch entsteht eine neuronale Anpassung, bei der es zu einer bevorzugten Rekrutierung der FT-Fasern kommt (Colson et al., 2000; Maffiuletti et al., 2000; Maffiuletti et al., 2002). Im Gegensatz dazu werden bei willkürlichen Muskelkontraktionen die FT-Fasern erst bei hohen Kraftbeanspruchungen oder sehr schnellen Bewegungen rekrutiert (Hollmann et al., 2000). Da im Rahmen dieser Arbeit die EMS mit submaximalen Intensitäten und einer langsamen Bewegungsgeschwindigkeit durchgeführt wurde, deuten die signifikanten Geschwindigkeitszunahmen auch hier auf eine Umkehrung des „Henneman size principle“ hin. Dies bestätigt die Annahmen von Colson et al. (2000) und Maffiuletti et al. (2000, 2002).

Zusätzlich bietet EMS-Training durch seine Langzeiteffekte neue Möglichkeiten in der Trainingsperiodisierung, da sich signifikante Verbesserungen erst nach zweiwöchiger Regenerationsphase zeigen. Die EMS-Gruppe kann sich bei fast allen Muskelgruppen erst im Retest steigern. Diese zeitversetzten Anpassungen werden von verschiedenen Autoren bestätigt (Herrero et al., 2006; Jubeau, Zory, Gondin, Martin & Maffiuletti, 2006; Kuppardt et al., 2002; Malatesta et al., 2003). Jubeau et al. (2008) schreiben die verzögerte Anpassung der Intensität eines EMS-Trainings und damit einer verlängerten Regenerationszeit zu. Sie untersuchten den Einfluss von EMS auf die Creatin-Kinase. Anhand der Creatin-Kinase-Konzentration im Blut lässt sich erkennen, wie stark die Skelettmuskulatur durch ein Training geschädigt wurde und damit die Intensität bestimmen. Jubeau et al. (2008) schlussfolgern auf der Basis ihrer Resultate, dass ein EMS-Training deutlich intensiver als ein klassisches Krafttraining ist und deswegen eine deutlich längere Regenerationszeit benötigt. Der Verlauf der Anpassungen bei der gemischten Gruppe EMS/Hypertrophie ist ähnlich wie der der Hypertrophiegruppe. Da die Probanden nur eine EMS-Einheit pro Woche absolvierten, war die Intensität des Trainings insgesamt niedriger als bei der EMS-Gruppe. Somit sind die Probanden aufgrund der kürzeren Regenerationszeit bereits im Posttest in der Lage, Steigerungen zu erzielen. Das gemischte Trainingsdesign EMS- und Hypertrophietraining weist zudem aus beiden Trainingsstimuli typische Anpassungserscheinungen auf, so dass Verbindungen aus klassischen und modernen Verfahren neue vielversprechende Reizkonstellationen eröffnet (Tab. 4).

Tab. 4: *Beinbeugemuskulatur EMS: signifikante Veränderungen der maximalen Leistung und ihrer Komponenten bei 40 %*

		EMS			EMS/Hyp			Hyp		
		1-2	1-3	2-3	1-2	1-3	2-3	1-2	1-3	2-3
Leg Curl Dynamik 40%	Zusatzlast				8%	6%				
	F _{maxdyn}				9%			12%		
	v _{maxdyn}	19%	21%			10%				
	P _{max}		29%			12%		18%	18%	
	F _{tpmax}								10%	
	v _{tpmax}		22%							
	RFD _{max}									
	RvD _{max}									
	RPD _{max}									

1-2: Pre- <--> Posttest ; 1-3: Pre <--> Retest; 2-3: Post <--> Retest

Bei den dynamischen Tests mit 60 % Zusatzlast zeigt die Maximalkraftgruppe ihre spezifische Anpassung in einer signifikanten Steigerung von P_{\max} im Test 1 - 2 und Test 1 - 3 (+ 12 %; + 14 %). Als Trainingsgruppe mit dem höchsten Zusatzgewicht im Training (90 % 1-RM) spiegelt sich ihr Trainingsdesign in der Anpassung wider. So kann z. B. die Hypertrophiegruppe mit 60 % 1-RM Trainingsbelastung nur einen Transfer bei kleinerer Zusatzlast (40 %) in der dynamischen Diagnostik aufzeigen. Die signifikante Steigerung von P_{\max} erfolgt in der Maximalkraftgruppe dabei ausschließlich über die Kraftkomponente. F_{\maxdyn} verbessert sich von Test 1 - 2 und von Test 1 - 3. Die Hypertrophie-, die Schnellkraft- und die gemischte Gruppe EMS/Hypertrophie erhöhen ebenfalls die Kraftkomponente sowohl im Kurzzeit- als auch im Langzeiteffekt. Sie können jedoch, wie bereits erörtert, keinen Transfer in eine Leistungssteigerung P_{\max} vollziehen. Die Schnellkraftgruppe zeigt nur Kurzzeiteffekte. Zwischen Test 2 - 3 ist eine signifikante Abnahme von F_{\maxdyn} festzustellen. Die Trainingsgruppen mit Vibration zeigen keine signifikanten Veränderungen (Tab. 5).

Tab. 5: *Beinbeugemuskulatur Klassisch: signifikante Veränderungen der maximalen Leistung und ihrer Komponenten bei 40 %*

		Max			Schnellkraft			Kraftausdauer			Hyp		
		1-2	1-3	2-3	1-2	1-3	2-3	1-2	1-3	2-3	1-2	1-3	2-3
Leg Curl Dynamik 40%	Zusatzlast	9%	9%										
	F _{maxdyn}	10%	10%		15%					12%			
	v _{maxdyn}				10%	13%							
	P _{max}	16%	14%		22%	12%				18%	18%		
	F _{tpmax}										10%		
	v _{tpmax}					12%							
	RFD _{max}												
	RvD _{max}												
	RPD _{max}												

1-2: Pre- <--> Posttest ; 1-3: Pre <--> Retest; 2-3: Post <--> Retest

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden Maximalkraft, RFD, Impuls, maximale dynamische Leistung und ihre Komponente der Beinstreck- und Beinbeugemuskulatur bei verschiedenen Trainingsinterventionen über einen Zeitraum von 7 Wochen (2 TE/Woche) experimentell geprüft. Die Effekte wurden bei klassischen Krafttrainingsgruppen einer Hypertrophie-, einer Maximalkraft-, einer Kraftausdauer- und einer Schnellkraftgruppe, bei modernen Trainingsgruppen einer Vibrations- und EMS-Gruppe sowie gemischten Interventionsgruppen Vibration/Hypertrophie und EMS/Hypertrophie auf diese Fähigkeiten mit der weiterführenden Zielstellung untersucht, einen Transfer in die Sportpraxis vorzunehmen. Trotz der langjährigen Forschung im Krafttrainingsbereich verbleibt die kausale Verbindung zwischen Trainingsreiz und Anpassung bei klassischen aber insbesondere auch modernen Verfahren unklar. Kinematische und kinetische Kenngrößen des Krafttrainings vor allem im Mehrsatztraining sind weitgehend unerforscht. Neue Determinanten zur expliziten Beschreibung der Trainingsintervention, die über die Beschreibung der Serien- und Satzzahl hinausgehen, werden gefordert (Crewther et al., 2005; Toigo et al., 2006). Aus diesen Gründen ist es notwendig, unter kontrollierten und standardisierten Trainingsbedingungen (Biofeedback) eine differenzierte Analyse der o. g. Kraftfähigkeiten an Maschinen mit Kraft- und Wegsensoren durchzuführen.

Festzustellen ist, dass eine solche moderne Krafttrainingsregulation differenzierte Anpassungen von standardisierten mechanischen und elektrischen Stimuli auf isometrische und dynamische Kraftparameter ermitteln kann, so dass gezielte Trainingsempfehlungen für die Praxis gegeben werden können.

Ein besonders hervorzuhebendes Ergebnis der Studie ist die Erkenntnis, dass Anpassungserscheinungen muskelspezifisch ausgeprägt sind. Daraus lässt sich ableiten, dass die Funktionsweise der jeweiligen Muskulatur bei der Aufstellung von Trainingsdesigns zukünftig stärker bedacht wird. Klassische Trainingsformen mit einer hohen „time under tension“, einer verlängerten exzentrischen Phase und einer kontinuierlich langsamen Bewegungsgeschwindigkeit (z. B. Hypertrophie- und Kraftausdauerdesign) weisen eine Verschiebung der Kraft-Zeit-Kurve zu höheren Kraftwerten, größeren Kraftimpulsen und einer gesteigerten RFD insbesondere zu frühen Zeitpunkten (F30, F50, F100, F200, F500) auf. So können solche Trainingsdesigns nicht nur zur Erarbeitung der Basisfähigkeiten Maximalkraft sinnvoll genutzt werden, sondern auch als Grundlage für Schnellkraftfähigkeiten insbesondere im Kindes- und Jugendtraining von Interesse sein. Weiterhin bewirkte EMS-Training als einzige Trainingsform einen Anstieg von P_{max} ausschließlich über die Geschwindigkeitskomponente, die zusammen mit der Kraftkomponente die dynamische Leistungsfähigkeit bestimmt. Interessanterweise konnten selbst Trainingsgruppen mit typischen Schnellkraft- oder Maximalkraftdesigns die maximale Leistung nur in Verbindung oder ausschließlich über die Kraftkomponente signifikant steigern. So scheint ein dynamisches EMS-Training bei submaximaler Intensität neue Möglichkeiten zur Steigerung der praxisrelevanten maximalen Leistung zu bieten. Zusätzlich bietet EMS-Training durch seine Langzeiteffekte neue Möglichkeiten in der Trainingsperiodisierung, da sich signifikante Verbesserungen erst nach zweiwöchiger Regenerationsphase zeigen. Gemischte Trainingsdesigns wie zum Beispiel EMS-

und Hypertrophietraining weisen aus beiden Trainingsstimuli typische Anpassungserscheinungen auf, so dass Verbindungen aus klassischen und modernen Verfahren neue vielversprechende Reizkonstellationen eröffnet.

Literatur

- Aagaard, P., Simonsen, E.B., Jesper, L.A., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology*, 93, 1318-1326.
- Andersen, L.L. & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European journal of applied physiology*, 96, 46-52.
- Baechle, T.R., Roger, W.E., & Wathen, D. (2000). Resistance Training. In T.R. Baechle & W.E. Roger (Hrsg.), *Essentials of strength training and conditioning* (2. Auflage, S. 395-426). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bird, S.P., Tarpenning, K.M., & Marino, F.E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports medicine*, 35, 841-851.
- Boeckh-Behrens, W.-U. & Mainka, D. (2006). *Krafttraining durch Elektromyostimulation? Empirische Untersuchung zu den Kraffteffekten bei einem Elektromyostimulationstraining am BodyTransformer mit Variation der Trainingsdauer*. Unpublished Manuskript. Institut für Sportwissenschaften der Universität Bayreuth.
- Colson, S., Martin, A., & Van Hoecke, J. (2000). Re-examination of training effects by electrostimulation in the human elbow musculoskeletal system. *International journal of sports medicine*, 21, 281-288.
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2005). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute mechanical responses. *Sports medicine*, 35, 967-989.
- Herrero, J.A., Izquierdo, M., Maffiuletti, N.A., & Garcia-Lopez, J. (2006). Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *International journal of sports medicine*, 27 (7), 533-539.
- Hollmann, W., Hettinger, T., & Strüder, H.K. (2000). *Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*. (4. Auflage) Stuttgart, New York: Schattauer.
- Hortobagyi, T., Lambert, N.J., Tracy, C., & Shinebarger, M. (1992). Voluntary and electromyostimulation forces in trained and untrained men. *Medicine and science in sports and exercise*, 24 (6), 702-707.
- Jubeau, M., Sartorio, A., Marinone, P.G., Agosti, F., Van Hoecke, J., Nosaka, K., et al. (2008). Comparison between voluntary and stimulated contractions of the quadriceps femoris for growth hormone response and muscle damage. *Journal of applied physiology*, 104, 75-81.
- Kraemer, W.J., Ratamess, N.A., Fry, A.C., & French, D.N. (2006). Strength training: development and evaluation of methodology. In P.J. Maud & C. Foster (Hrsg.), *Physiological assessment of human fitness* (2. Auflage, S. 119-149). Champaign: Human Kinetics.

- Kraemer, W.J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G.A., Dooly, C., Faigenbaum, M.S. et al. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 34, 364-380.
- Kramer, J.F. (1987). Effect of electrical stimulation current frequencies on isometric knee extension torque. *Physical therapy*, 67 (1), 31-38.
- Kreuzer, S. (2006). *Effekte von Ganzkörper-Elektromyostimulationstraining und traditionellem Krafttraining auf unterschiedliche Kraft- und Blutparameter bei jugendlichen Leistungswasserballern*. Diplomarbeit, Deutsche Sporthochschule Köln.
- Kuppardt, H., Appelt, K., Bartonietz, H., Böhme, H., Buhl, H., Kanzler, I., et al. (2002). Untersuchungen zur muskulären Belastungswirkung der elektrischen Stimulation (kurz- und längerfristige Effekte) – Voraussetzung für einen optimalen therapeutischen Einsatz. *Zeitschrift für Elektrostimulation und Elektrotherapie*, 4 (1), 20-24.
- Maffiuletti, N.A., Dugnani, S., Folz, M., Di Pierno, E., & Mauro, F. (2002). Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Medicine and science in sports and exercise*, 34, 1638-1644.
- Maffiuletti, N.A., Cometti, G., Amiridis, I.G., Martin, A., Pousson, M., & Chatard, J.C. (2000). The effects of electromyostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *International journal of sports medicine*, 21, 437-443.
- Malatesta, D., Cattaneo, F., Dugnani, S., & Maffiuletti, N.A. (2003). Effects of electromyostimulation training and volleyball practice on jumping ability. *Journal of strength and conditioning research*, 17, 573-579.
- Schmidtbleicher, D. (2003). Training in power events. In P. V. Komi (Hrsg.), *Strength and Power in Sport* (2. Auflage, S. 381-395). Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Tittel, K. (2003). *Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen*. (14 ed.) München [u. a.]: Urban & Fischer.
- Toigo, M. & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European journal of applied physiology*, 97, 643-663.
- Westing, S.H., Seger, J.Y., & Thorstensson, A. (1990). Effects of electrical stimulation on eccentric and concentric torque-velocity relationships during knee extension in man. *Acta physiologica scandinavica*, 140 (1), 17-22.

