

# Coenzym Q10-Versorgung und Q10-Substitution im Leistungssport

## Auswirkung auf den mitochondrialen Energie- (Performance-Müdigkeit) und den muskulären Stoffwechsel (Muskelverletzungen)

**Klaus Erpenbach**  
**Wolfgang Mayer**  
**Uwe Hoffmann**  
**Robert Rein**  
**Stefan Mücke**

Muskuläre Verletzungen und trainings- bzw. wettkampfinduzierte Müdigkeit sind ständige Begleitsymptome im Spitzensport, die optimale Ergebnisse schnell bzw. Wettkampfteilnahmen verhindern können. Ist ein Q10-Mangel für diese Probleme bei Leistungssportlern verantwortlich und können sie durch eine tägliche Q10-Substitution beseitigt werden?

### Methodik

Bei 111 Leistungssportlern (männlich: 50 – weiblich: 61) wurde Q10 bestimmt und zu den Symptomen Muskelverletzung und Performance-Müdigkeit korreliert. 35 Athleten wurden über 3 Monate mit täglich 400 mg Q10-Emulsion substituiert und Q10, zelluläres ATP sowie Creatinkinase (CK) vor und nach Therapie bestimmt und ebenfalls mit den Symptomen Muskelverletzung und Performance-Müdigkeit korreliert.

### Ergebnisse

Bei 70% aller Leistungssportler (N=77/111) konnte ein Coenzym Q10-Mangel ( $< 750 \mu\text{g/l}$ ) nachgewiesen werden, im Durchschnitt bei  $653,20 \pm 289,58 \mu\text{g/l}$ . Jugendnationalspieler (U16–U18) waren schlechter mit Q10 im Blut versorgt als A-Nationalspieler (Q10:  $579,25 \pm 233,63 \mu\text{g/l}$  vs.  $751,71 \pm 441,80 \mu\text{g/l}$  ( $p=\text{n.s.}$ )). Im Q10-Gruppenvergleich traten in der Gruppe  $< 1.000 \mu\text{g/l}$  vs.  $> 1.000 \mu\text{g/l}$  Q10 mehr als doppelt so häufig Muskelverletzungen ( $594 \pm 190,72 \mu\text{g/l}$  vs.  $1.178 \pm 90,85 \mu\text{g/l}$ ,  $\text{OR}=2,34$ ,  $p=0,20$ ) auf. Durch die tägliche Substitution von 400 mg Q10-Emulsion über 3 Monate konnte der Q10-Level im Blut signifikant gesteigert werden ( $670,57 \pm 273,08 \mu\text{g/l}$  vor vs.  $2.399,29 \pm 810,49 \mu\text{g/l}$  nach Therapie,  $p<0,001$ ), das zelluläre ATP optimierte signifikant ( $92,21 \pm 10,02\%$  T-Zellen vor vs  $99,11 \pm 1,05\%$  T-Zellen nach Therapie,  $p<0,001$ ), während das muskuläre CK signifikant reduziert werden konnte ( $444,76 \pm 239,61 \text{ U/l}$  vor vs  $265,71 \pm 156,75 \text{ U/l}$  nach Supplementierung,  $p<0,01$ ). Weibliche Athleten (weiblich:  $725,73 \pm$

$73 \mu\text{g/l}$  vs männlich:  $645,29 \pm 258,09 \mu\text{g/l}$ ,  $p<0,01$ ) waren signifikant besser mit Q10 versorgt als männliche Sportler. Athleten mit Muskelverletzungen wiesen einen höheren CK-Level im Blut auf als Sportler ohne Muskelverletzungen (CK:  $684,95 \text{ U/l}$  mit Muskelverletzungen vs  $250 \mu\text{g/l}$  ohne Muskelverletzungen). Hierdurch konnte bei den Athleten eine signifikante absolute Risikoreduktion bei Muskelverletzungen von 68,6% ( $26/35$  vor vs  $2/35$  nach Therapie,  $p<0,0001$ ) und bei der Performance-Müdigkeit von 51,4% ( $21/35$  vor vs  $3/35$  nach Therapie,  $p<0,0001$ ) berechnet werden. Es wurden keine Nebenwirkungen beklagt.

### Schlussfolgerung

Der Mangel an Serum-Qu10 im Leistungssport – unabhängig von der Sportart – ist deutlich. Durch die tägliche Q10-Substitution können sowohl muskuläre Verletzungen als auch die Performance-Müdigkeit durch Optimierung der mitochondrialen ATP-Produktion signifikant reduziert werden. Randomisierte Therapiestudien über eine ganze Saison müssen zeigen, ob Performance-Müdigkeit und muskuläre Verletzungen durch eine tägliche, dauerhafte Q10-Substitution vermieden werden können.

### CoenzymQ10 level and Q10 supplementation in elite sports: effect on mitochondrial energy (performance fatigue) and muscle metabolism (muscle damage)

#### Summary

Muscle damage and training or competition induced fatigue are the most common symptoms in elite sport demolishing optimal training results or prohibiting competition. Are Q10 deficiency responsible for these symptoms in elite sport and will daily supplementation prevent them.

#### Methods

In 111 elite athletes (male: 50 – female: 61) blood level of Q10 was determined. In all elite athletes

the symptoms performance fatigue and muscle damage were correlated. 35 elite athletes, getting daily supplementation of 400mg Q10-Emulsion for 3 months, Q10, cellular ATP and creatin kinase (CK) before and after supplementation were determined and the symptoms muscle damage and performance fatigue were correlated.

### Results

In 70% of all elite athletes (N=77/111) a blood-Q10-deficiency ( $< 750 \mu\text{g/l}$ ) was established, in average  $653,20 \pm 289,58 \mu\text{g/l}$ . In cases of young national player (U16/U18) Q10 compared to national A player were poorly supplied (Q10:  $579,25 \pm 233,63 \mu\text{g/l}$  vs.  $751,71 \pm 441,80 \mu\text{g/l}$  ( $p=n.s.$ )). Comparing the settings of Q10  $< 1.000 \mu\text{g/l}$  vs.  $> 1.000 \mu\text{g/l}$  muscle damage were 2.34times more frequent ( $594 \pm 190,72 \mu\text{g/l}$  vs.  $1178 \pm 90,85 \mu\text{g/l}$ , OR=2,34,  $p=0,20$ ) in the lower group. Daily substitution of 400mg Q10-Emulsion improved Q10-level in blood significantly ( $670,57 \pm 273,08 \mu\text{g/l}$  before vs.  $2.399,29 \pm 810,49 \mu\text{g/l}$  after supplementation,  $p<0,001$ ), significantly optimized cellular ATP ( $92,21 \pm 10,02\%$  T-cells before vs  $99,11 \pm 1,05\%$  T-cells after supplementation,  $p<0,001$ ) and significantly reduced muscular CK levels ( $444,76 \pm 239,61 \text{ U/l}$  before vs  $265,71 \pm 156,75 \text{ U/l}$  after supplementation,  $p<0,01$ ). Female athletes significantly showed higher blood levels of Q10 than the male athletes (female:  $725,73 \pm 73 \mu\text{g/l}$  vs male:  $645,29 \pm 258,09 \mu\text{g/l}$ ,  $p<0,01$ ).

Athletes suffering from muscle damage showed higher levels of CK than athletes without muscle damage (CK:  $684,95 \text{ U/l}$  muscle damage vs  $250 \mu\text{g/l}$  without muscle damage). A significant absolute risk reduction of 68,6% for muscle damage (26/35 before vs 2/35 after therapy,  $p<0,0001$ ) and of 51,4% for performance fatigue (21/35 before vs 3/35 after therapy,  $p<0,0001$ ) were calculated. No side effects were observed.

### Conclusion

Independently to the type of sports, deficiency of Q10 in blood in elite sports was observed. Daily Q10 substitution can significantly reduce performance fatigue and muscle damage by optimizing mitochondrial ATP-energy-metabolism. Randomized treatment trials over a whole season must show whether performance fatigue or muscle damage can be avoided by daily and permanent Q10 substitution.

### Einleitung

Mikronährstoffe – Vitamine und Spurenelemente – interagieren miteinander, sind essenziell und werden

täglich benötigt, um alle physiologischen Körperfunktionen optimal aufrechtzuerhalten [1, 2]. Hoher Trainingsaufwand, enger Spielplan, einseitige oder falsche Ernährung, häufige Reisen und hohe psychologische Belastungen führen in der Vorbereitung zu einem hohen Verbrauch dieser Mikronährstoffe, was in 12,9% der Fälle in Verletzungen und in 9,2% der Fälle in akuten Infektionen endet und zu Trainingsausfällen und zu Wettkampfabstagen führt [3–6]. In großen Veranstaltungen wie Olympia, FIFA-World-Cup oder IAAF fallen 9,6–14% der Teilnehmer durch Verletzungen aus [5–13]. 5,4–8,9% der Teilnehmer erleiden eine akute Infektionserkrankung, im Winter doppelt so häufig wie im Sommer [5–13].

Während des Trainings ist Coenzym Q10 (Q10) ein grundlegender Katalysator, der für die Energieproduktion auf zellulärer Ebene notwendig ist. Q10, das auf natürliche Weise vom menschlichen Körper produziert und synthetisiert wird und eine Benzochinonverbindung ist, kommt in Skelett- und Herzmuskelgeweben vor, die ein hohes Maß an körperlicher Aktivität aufweisen, sowie in Organen wie Leber, Niere und Gehirn [14]. Körperliche Bewegung erhöht die Stoffwechselaktivität und den Sauerstoffverbrauch und damit die Produktion von reaktiven Sauerstofftypen und verursacht somit Muskelermüdung und entsprechend oxidative Schäden. Q10 erhöht die Energieproduktion in den Mitochondrien, was die muskuläre Leistung steigert und die Ermüdung verringert [15]. Die Hauptaufgabe von Q10 ist seine Funktion als Teil der mitochondrialen Atmungskette und eine wichtige Verbindung der zellulären Energieproduktion [16]. Ziel dieser Studie ist, den Q10-Level im Blut von Spitzensportlern diverser Sportarten zu erfassen und eventuelle Wechselbeziehungen mit den Beschwerden Muskelverletzungen und Performance-Müdigkeit der Sportler zu analysieren. Sind eindeutige Unterschiede zwischen einem Q10-Mangel im Serum und den Beschwerden der Sportler nachweisbar und durch eine tägliche Q10-Substitution zu vermeiden?

### Methodik

#### Teilnehmer

111 Spitzensportler aus verschiedenen Sportarten (Teamsport: Feldhockey und Fußball – Einzelsport: Leichtathletik, Tennis, Motorsport) wurden in die Kohortenstudie eingeschlossen. Alle Teilnehmer gaben Ihr schriftliches Einverständnis zur Datenerhebung. Mittels eines Fragebogens wurde die Häufigkeit von medizinisch bestätigten Muskel-Sehnen-Verletzungen (Muskelfaser- wie Muskelbündelrisse und Sehnen-Muskelfaserrisse) und die Performance-Müdigkeit – definiert als körperliche Erschöpfung unmittelbar nach dem Training/Wettkampf (in der Visuellen-Analog-Skala  $> 5$ ) mit persistenter morgendlicher Müdigkeit und Antriebslosigkeit trotz 7-Stunden-

Schlaf – erhoben. Bei allen 111 Sportlern wurde der Q10-Level im Blut untersucht und mit den Symptomen Muskelverletzung und Performance-Müdigkeit korreliert. Außerdem wurden in einer Beobachtungsstudie 35 Elite-Athleten über 3 Monate mit täglich 400 mg Q10-Emulsion (Bionovelia Q10R, Fagus Pharma, Brühl, Deutschland) substituiert und Q10, das zelluläre ATP und die Creatinkinase (CK) vor und nach Therapie im Blut bestimmt und in Abhängigkeit zu dem Symptom Muskelverletzungen und Performance-Fatigue berechnet.

#### **Coenzym Q10 (Serum)**

Die Bestimmung des Q10 im Serum erfolgte über Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) mit kommerziellen Kits (Firma Chromsystems, Gräfelfing, Deutschland) nach Herstellerangaben (Q10 – BestNr. 68000).

#### **Creatinkinase (Serum)**

Die Creatinkinase im Serum wurde mit einem Alinity C-Laborautomaten der Fa. Abbott nach Herstellerangaben bestimmt (Best.Nr. 8P4220)

#### **Mitochondrienfunktion über das Mitochondriale Membranpotential (ATP-Level)**

Aus heparinisiertem Blut wurde die PBMC-Fraktion mittels Ficoll-Dichtegradientenzentrifugation isoliert und in einer Konzentration von 1 Million PBMCs/ml in RPMI-Medium mit 5% Serumanteil aufgenommen. Die Messungen wurden mit dem Cell Meter™ JC-10 Mitochondrien Membrane Potential Assay Kit, optimiert für Durchflusszytometrie der Fa. ATT Bioquest (Catalog number: 22801) entsprechend der Herstellerangaben auf einem FACS Calibur der Fa. Becton Dickinson durchgeführt. Der von JC-1 abgeleitete und optimierte Farbstoff JC-10 bindet selektiv in der Mitochondrienmembran und verändert mit abfallendem Membranpotential sein Fluoreszenzspektrum von orange nach grün. Das Membranpotential kann als direkter Summenmarker und Endpoint für die ATP-Produktion angesehen werden. Als Read Out wurde der prozentuale Anteil von T-Zellen (CD3+) ohne Reduktion des Membranpotentials erfasst („ATP-Level“).

#### **Statistische Analyse**

Die statistische Analyse der Daten wurde mit der Software R (Version 4.1.2) ausgewertet. Die Gruppenvergleiche wurden mittels eines gemischten linearen Modells überprüft. Geschlecht und Alter wurden als Kovariaten in das Modell inkludiert während Teilnehmerunterschiede als Zufallseffekte modelliert wurden. In Falle statistische signifikanter Haupteffekte wurden die Unterschiede mittels post-hoc Tests auf Basis der korrigierten Randmittelwerte und der Tukeykorrektur für Mehrfachtestung überprüft. Die Voraussetzungen

für die Inferenz statistischer Effekte wurde mittels Quantile-Quantile-Diagrammen der Modellresiduen überprüft. Statistisch signifikante Effekte für 2x2 Häufigkeitstabellen für die muskuläre und die allgemeine Ermüdung wurden mittels McNemar-Tests überprüft. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde für alle Tests auf  $\alpha = 0,05$  angesetzt, so dass bei  $p \leq 0,05$  die Ergebnisse als statistisch signifikant bzw. für  $p \leq 0,01$  als hochsignifikant bezeichnet werden. Effektstärken wurden, wenn angemessen, nach Cohen's d berechnet und der üblichen Einteilung folgend interpretiert ( $< 0,2$  klein,  $0,2 < 0,5$  mittel,  $> 0,5$  groß).

#### **Ergebnisse**

Tab. 1 zeigt die Charakteristik der Studienpopulation. 44% der Athleten beklagten eine Performance-Müdigkeit und 73% Muskelverletzungen. In der Gesamtpopulation lag der Durchschnittswert für Q10 bei  $653,21 \pm 289,58 \mu\text{g/l}$ , jedoch nur 70% der Leistungssportler ( $N=77/111$ ) zeigten einen gesicherten Q10-Mangel ( $< 750 \mu\text{g/l}$ ). Tab. 2 zeigt den Vergleich Jugend vs. Erwachsene. Jugendliche sind gegenüber den Erwachsenen schlechter mit Q10 (U16/18:  $579,25 \pm 233,63 \mu\text{g/l}$  vs. A-Nationalspieler:  $751,71 \pm 441,80 \mu\text{g/l}$ )

	Alter	Q10 750–1200 $\mu\text{g/l}$
Gesamt (n=111)	22,34 $\pm$ 7,43	653,2 $\pm$ 289,58 (n=111)
Weiblich (n=61)	20,13 $\pm$ 6,16	642,7 $\pm$ 241,12 (n=60)
Männlich (n=50)	25,04 $\pm$ 8	665,8 $\pm$ 340,93 (n=50)
Fußball (n=21)	22,9 $\pm$ 4,05	703,6 $\pm$ 468,48 (n=20)
Feldhockey (n=62)	19,37 $\pm$ 4,62	623,6 $\pm$ 217,25 (n=62)
Olympia-Teilnehmer (n=19)	29 $\pm$ 10,86	721,8 $\pm$ 291,55 (n=19)
Tennis (n=5)	21,6 $\pm$ 6,5	638,8 $\pm$ 254,55 (n=5)
Motor (n=4)	34,75 $\pm$ 6,85	552,5 $\pm$ 148,08 (n=4)
National (n=27)	23,59 $\pm$ 5,35	738,3 $\pm$ 420,2 (n=27)
U16 (n=6)	13,67 $\pm$ 0,82	496,7 $\pm$ 187,26 (n=6)
U18 (n=15)	16,47 $\pm$ 0,64	602,1 $\pm$ 241,6 (n=15)
U21 (n=6)	18,78 $\pm$ 0,9	618,7 $\pm$ 241,6 (n=6)

**Tab. 1** Q10-Level im Serum unterteilt nach Geschlecht, Alter und Sportart

	Qu10 750–1.200 µg/l
Gesamt	653,21 ± 289,58 (N=111)
Nationalspieler Erwachsene	751,71 ± 441,80 (N=24)
Nationalspieler U16 – U18	579,25 ± 233,63 (N=24)
andere U18	592,05 ± 275,72 (N=21)
andere Erwachsene	668,31 ± 289,58 (N=42)

**Tab. 2** Q10-Level im Serum im Vergleich Erwachsene gegen Jugend

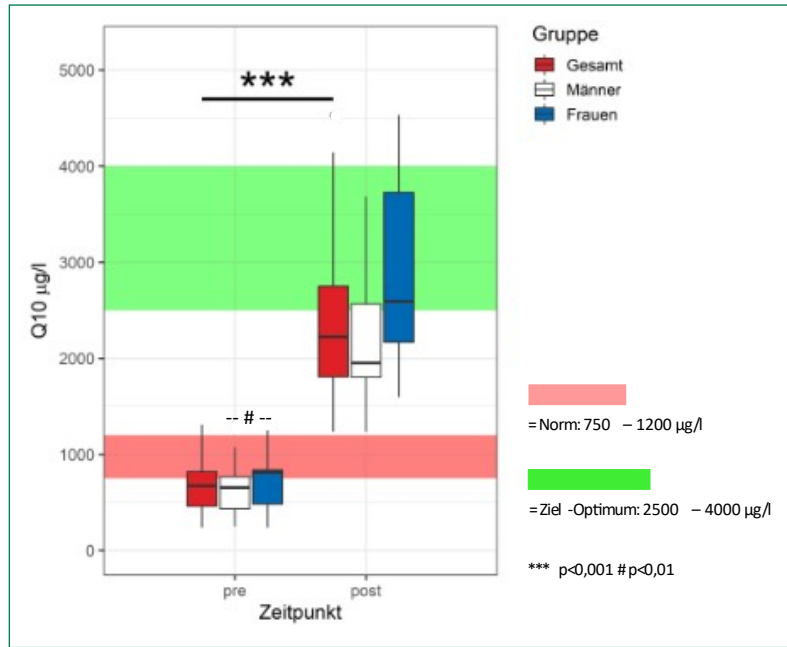
Probanden	Q10 750–1200 µg/l	
A	≤ 1.000	
B	> 1.000	n
Gesamt	600	102
± SD	± 187,33	
Gesamt	1.328	8
± SD	± 488,27	

Müdigkeit		
ja (A)	635	45
± SD	± 193,34	
ja (B)	1.123	4
± SD	± 98,17	
	OD=0,99 - p=0,625	
nein (A)	573	57
± SD	± 179,55	
nein (B)	1.533	5
± SD	± 659,11	

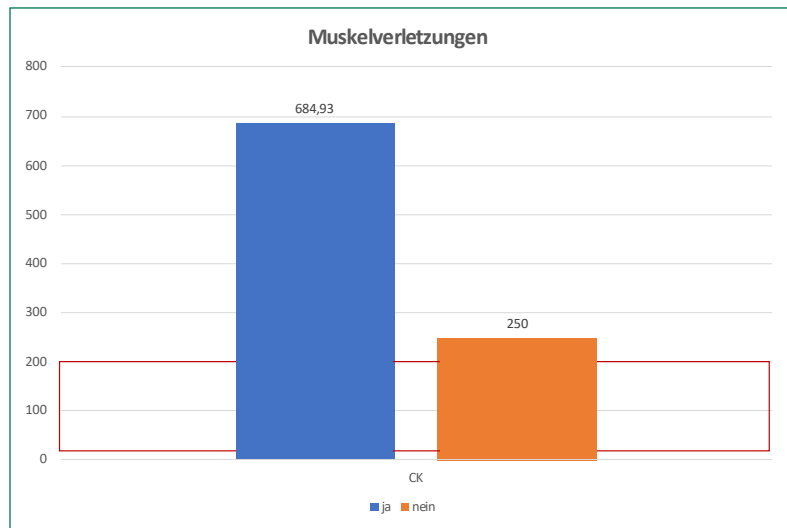
Muskelverletzung		
ja (A)	594	76
± SD	± 190,72	
ja (B)	1.178	5
± SD	± 90,85	
	OD=2,34 - p=0,197	
nein (A)	618	26
± SD	± 179,45	
nein (B)	1.478	4
± SD	± 698,37	

**Tab. 3** Q10-Level im Serum: Vergleich der unteren Normmitte (A) gegen die obere Normmitte (B) bezogen auf die Symptome Müdigkeit und Muskelverletzungen

(p=n.s)). versorgt. Im Q10-Gruppenvergleich (< 1.000 µg/l vs > 1.000 µg/l Q10 im Serum) wurde in der Gruppe < 1.000 µg/l Q10 im Serum 2,34-mal häufiger Muskelverletzungen (594 ± 190,72 µg/l vs. 1.178



**Abb. 1** Q10-Level und Standardfehler vor und nach Therapie mit 400 mg Q10-Emulsion täglich über 3 Monate (N=35), männlich (N=24), weiblich (N=11). \*\*\* = p<0,0001 # = p<0,01



**Abb. 2** Kreatinkinase-Level (CK) bei Sportlern mit (blauer Balken) und ohne Muskelverletzungen (orangener Balken) vor Q10-Substitution (n=17). Rote Rahmen = Normbereich (30–200 U/l)

± 90,85 µg/l, OR=2,34, p=0,20) als in der Gruppe > 1.000 µg/l Q10 beklagt (Tab. 3). Durch die tägliche Substitution von 400 mg Q10-Emulsion über 3 Monate konnte das Serum-Q10 signifikant gesteigert werden (670,57 ± 273,08 µg/l vor vs. 2.399,29 ± 810,49 µg/l nach Therapie, p<0,001) (Tab. 4). Das zelluläre ATP stieg signifikant (92,21 ± 10,02% T-Zellen vor vs 99,11 ± 1,05% T-Zellen nach Therapie, p<0,001), während das muskuläre CK signifikant reduziert werden konnte (444,76 ± 239,61 U/l vor vs 265,71 ± 156,75 U/l nach Supplementierung, p<0,01) (Tab. 4). Weibliche Athleten (weiblich: 725,73 ± 73 µg/l vs männlich: 645,29 ±

258,09  $\mu\text{g/l}$ ,  $p < 0,01$ ) waren signifikant besser mit Q10 versorgt als männliche Sportler (Abb. 1). Athleten mit Muskelverletzungen wiesen einen höheren CK-Level im Blut auf als Sportler ohne Muskelverletzungen (CK: 684,95 U/l mit Muskelverletzungen vs 250  $\mu\text{g/l}$  ohne Muskelverletzungen) (Abb. 2). Hierdurch konnte bei den Athleten eine signifikante absolute Risikoreduktion bei Muskelverletzungen von 68,6% (26/35 vor vs 2/35 nach Therapie,  $p < 0,0001$ ) und bei der Performance-Müdigkeit von 51,4% (21/35 vor vs 3/35 nach Therapie,  $p < 0,0001$ ) berechnet werden (Abb. 3). Es wurden keine Nebenwirkungen beklagt.

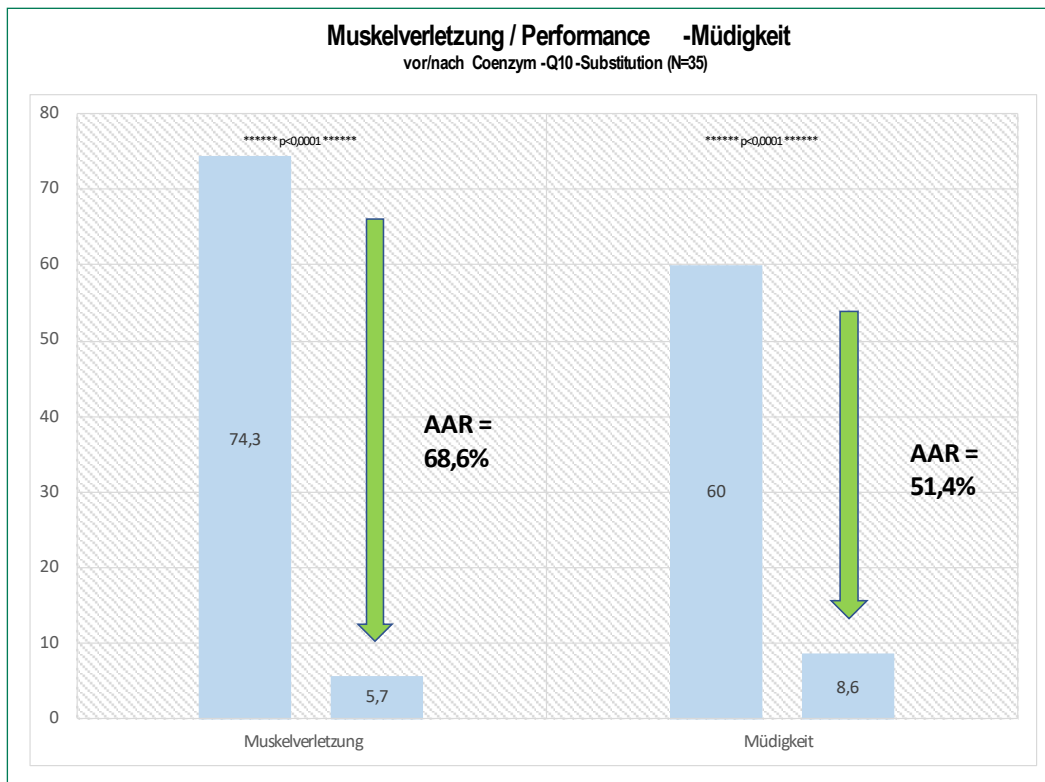
### Diskussion

Die Prävalenz einer inadäquaten Q10-Versorgung ( $< 750 \mu\text{g/l}$ ) in unserer Studie mit 70% findet man so in der Literatur nicht. Die Q10-Durchschnittswerte internationaler Studien (N=33) zeigen mit 850  $\mu\text{g/l}$  [17] und  $1.355 \pm 189,93 \mu\text{g/l}$  [18] große Abweichungen zu dem Mittelwert unserer Studie (N=111):  $653 \pm 289,58 \mu\text{g/l}$ . U16-/U18-Nationalspieler haben mit durchschnittlich  $579,25 \pm 233,63 \mu\text{g/l}$  eine deutlich schlechtere Versorgung mit Q10 als A-Nationalspieler ( $751,71 \pm 441,80 \mu\text{g/l}$ ). Der Anteil mit Q10-inadäquat versorgter ( $< 750 \mu\text{g/l}$ ) jugendlicher Athleten in unserer Studie ist mit 79,1% deutlich größer als gegenüber den Erwachsenen (63,2% – OR = 2,20 –  $p < 0,078$ ). Vergleiche in der Literatur liegen nicht vor. Grund für die deutlich schlechtere Q10-Versorgung bei Jugendlichen kann der erhöhte mitochondriale Energie-

und Proliferationsbedarf im Wachstumsalter sein. Q10 ist der zentrale Kofaktor in der mitochondrialen Atmungskette zur Energiebildung ATP und zur Proteinsynthese im Zitratzyklus. Wie bereits erwähnt ist die hohe Anzahl an Muskelverletzungen bei Spitzensportlern in unserer Studie sehr auffällig (73% aller Athleten – U16-/U18-Nationalspieler mit 83% und Jugendliche unter 18 Jahren mit 87% deutlich häufiger). Der Q10-Wert lag bei Athleten mit muskulären Verletzungen mit  $623,31 \pm 226,31 \mu\text{g/l}$  deutlich niedriger (=inadäquate Q10-Versorgung) als bei Athleten ohne muskuläre Verletzungen ( $732,93 \pm 408,19 \mu\text{g/l}$ ). Vergleich-Daten internationaler Studien liegen nicht vor. Vergleicht man die Prävalenz muskulärer Verletzungen bei Athleten mit Q10-Werten  $> 1.000 \mu\text{g/l}$  gegen Athleten mit Q10-Werten  $< 1.000 \mu\text{g/l}$ , dann ist die Wahrscheinlichkeit muskulärer Verletzungen bei Q10-Werten  $< 1000 \mu\text{g/l}$  2,34-fach höher als bei Athleten mit Q10-Werten  $> 1.000 \mu\text{g/l}$  (OR=2,34 –  $p < 0,197$ ). Die Q10-Level in unserer Substitutionsstudie bestätigen die mangelhafte Q10-Versorgung bei Leistungssportlern aus der Kohortenstudie (Therapiestudie:  $670,57 \pm 273,08 \mu\text{g/l}$  – Kohortenstudie:  $653,21 \pm 289,58 \mu\text{g/l}$ ). Durch die tägliche Substitution mit 400mg Q10-Emulsion in dieser Therapiestudie konnte der Serum-Q10-Level nach 3 Monaten signifikant gesteigert werden ( $670,57 \pm 273,08 \mu\text{g/l}$  vor vs.  $2399,29 \pm 810,49 \mu\text{g/l}$  nach Therapie,  $p < 0,001$ ), was zu einer signifikant gesteigerten mitochondrialen ATP-Produktion ( $92,21 \pm 10,02\%$  T-Zellen vor vs  $99,11 \pm$

	Gesamt N=35	Männlich N=24	Weiblich N=11
Müdigkeit prä	21/35 (60%)	12/24 (50%)	9/11 (81,8%)
Müdigkeit post	3/35 (8,6%)	1/24 (4,2%)	2/11 (18,2%)
ARR	51,4%	46,8%	53,6%
Signifikanz	$p < 0,0001$		
Muskelverletzung prä	26/35 (74,3%)	18/24 (75%)	8/11 (72,7%)
Muskelverletzung post	2/35 (5,7%)	2/24 (8,3%) 0/11 (-%)	
ARR	68,6%	66,7%	72,7%
Signifikanz	$p < 0,0001$		
Q10 prä	$670,57 \pm 273,08$	$645,29 * \pm 258,09$	$725,73 * \pm 308,96$
Q10 post	$2399,29 \pm 810,49$	$2.175,29 \pm 593,97$	$2.888,00 \pm 1019,23$
Signifikanz	$p < 0,001$		
ATP prä	$92,21 \pm 10,02$	$93,85 \pm 8,53$	$88,80 \pm 12,36$
ATP post	$99,11 \pm 1,05$	$99,17 \pm 1,08$	$98,96 \pm 1,04$
Signifikanz	$p < 0,001$		
CK prä	$444,76 \pm 239,61$	$459,14 \pm 261,35$	$377,67 \pm 84,48$
CK post	$265,71 \pm 156,75$	$284,57 \pm 163,62$	$177,67 \pm 91,85$
Signifikanz	$p < 0,01$		

**Tab. 4** Q10-Level (Norm: 750–1.200  $\mu\text{g/l}$ ), zelluläres ATP (Norm:  $>95\%$  T-Zellen), Creatinkinase CK (Norm: 30–200 U/l) mit Auswirkung auf die Performance-Müdigkeit und muskuläre Verletzungen vor und nach Substitution mit 400 mg Q10-Emulsion über 3 Monate (N=35) – Unterschied männlich/weiblich \*  $p < 0,01$  – ARR = absolute Risikoreduktion

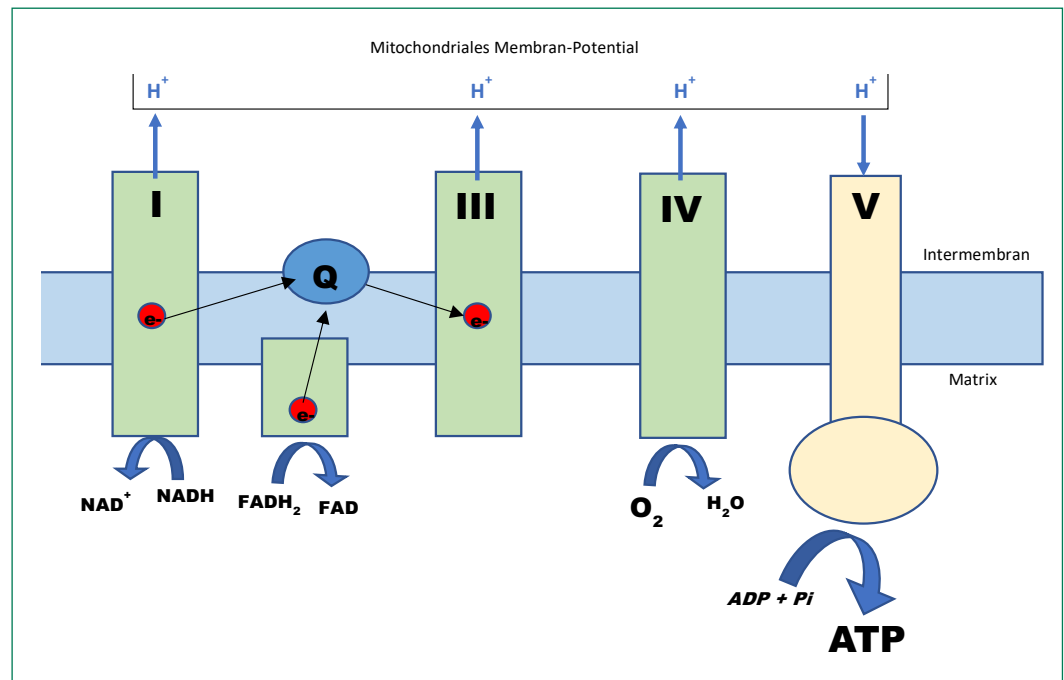


**Abb. 3** Absolute Risikoreduktion (AAR) der Muskelverletzungen und der Performance-Müdigkeit nach 3-monatiger Q10-Substitution

1,05% T-Zellen nach Therapie,  $p < 0,001$ ) und damit zu einer Verbesserung des muskulären Stoffwechsels (CK:  $444,76 \pm 239,61$  U/l vor vs  $265,71 \pm 156,75$  U/l nach Supplementierung,  $p < 0,01$ ) führte (Tab. 4). Kon et al [17] konnten in einer placebokontrollierten Therapiestudie (N=18 Kendo-Athleten – täglich 300 mg Q10 für 3 Wochen) ebenfalls eine signifikante Steigerung des Q10-Werts gegenüber den Athleten mit Placebo-einnahme erreichen (Verum:  $850 \mu\text{g/l}$  auf  $4.000 \mu\text{g/l}$  vs. Placebo:  $855 \mu\text{g/l}$  auf  $865 \mu\text{g/l}$  –  $p < 0,01$ ). Sie beobachteten darunter ebenfalls eine signifikante Senkung der CK-Aktivität während des Trainingscamps (Verum: von  $255$  U/l auf  $830$  U/l vs. Placebo:  $260$  U/l auf  $1.500$  U/l –  $p < 0,05$ ). Die verbesserte oxidative Phosphorylierung in der mitochondrialen Atmungskette (Q10-abhängig) und dadurch sinkende muskuläre Laktat-Produktion (längere optimierte aerobe Belastungsphase) führen möglicherweise zu dieser Senkung der CK-Werte (muskuläre Enzyme bei Mikroverletzungen) [17, 18]. Demirci et al [18] bestätigen in ihrer placebokontrollierten Studie diese Ergebnisse. 15 Athleten wurde in 3 Gruppen unterteilt (Placebo – täglich 100 mg Q10 – täglich 200 mg Q10 über 1 Woche Trainingscamp). Unter Substitution stieg der Q10-Wert innerhalb der 1wöchigen Therapiephase in den Verumgruppen signifikant gegenüber der Placebogruppe (100 mg:  $1570 \pm 220 \mu\text{g/l}$  auf  $2.240 \pm 730 \mu\text{g/l}$  vs. 200 mg:  $2.120 \pm 320 \mu\text{g/l}$  auf  $3.800 \pm 540 \mu\text{g/l}$  vs. Placebo:  $1.570 \pm 560 \mu\text{g/l}$  auf  $1.500 \pm 270 \mu\text{g/l}$  –  $p < 0,01$ ) an [18].

Unter dieser Optimierung konnte in den Verumgruppen eine signifikante CK-Aktivitätssenkung gegenüber der Placebo-Gruppe nachgewiesen werden (100mg:  $131,4 \pm 8,01$  U/l auf  $583,6 \pm 9,86$  U/l vs. 200mg:  $129 \pm 2,01$  U/l auf  $499,6 \pm 13,3$  U/l vs. Placebo:  $135 \pm 15,6$  U/l auf  $648,4 \pm 19,5$  U/l –  $p < 0,001$ ). Auch die mitochondriale Funktion (Laktatdehydrogenase LDH) konnte unter Q10-Substitution vollständig erhalten werden (100mg:  $146,2 \pm 13,7$  U/l auf  $271,4 \pm 11,2$  U/l vs. 200mg:  $118 \pm 12,9$  U/l auf  $240,9 \pm 9,24$  U/l vs. Placebo:  $151 \pm 12,9$  U/l auf  $442,6 \pm 32,4$  U/l (Norm  $< 250$  U/l) –  $p < 0,001$ ). Durch Erhaltung der optimalen mitochondrialen oxidativen Phosphorylierung unter Q10-Substitution fiel während des Trainingscamps die Laktatakkumulation signifikant niedriger aus (100mg:  $2,59 \pm 0,26$  mmol/l auf  $1,21 \pm 0,33$  mmol/l vs. 200mg:  $2,37 \pm 0,37$  mmol/l auf  $0,55 \pm 0,16$  mmol/l vs. Placebo:  $2,15 \pm 0,12$  auf  $4,40 \pm 0,66$  mmol/l –  $p < 0,01$ ) [18, 20]. Alf et al [19] konnten in einer placebokontrollierten Studie an 100 deutschen Olympioniken (Placebo vs. 300 mg Q10 täglich über 6 Wochen) eine signifikante Leistungssteigerung (Verum:  $11,03\%$  vs. Placebo:  $8,54\%$  –  $p = 0,03$ ) nachweisen. Gharahdaghi et al [21] bestätigen die Effektivität der Leistungssteigerung bei Profi-Fußballern in einer Placebo-kontrollierten Therapiestudie. Durch die tägliche Gabe von 300 mg Q10 über 4 Wochen konnten bei den Verum-Teilnehmern die  $\text{VO}_2\text{max}$  (ml/kg/min) (Verum:  $52,27 \pm 3,21$  vor auf  $53,63 \pm 2,54$  nach Therapie vs Placebo:  $51,28 \pm 1,88$





**Abb. 4** Q10-abhängiger ATP-Stoffwechsel im Muskelzell-Mitochondrium (I-V = Komplexe der Atmungskette - Q = CoenzymQ10 - e- = Elektron - NAD = Nicotinamid-Adenin-Dinukleotid - FAD = Flavin-Adenin-Dinukleotid)

vor auf  $50,80 \pm 2,24$  nach Therapie –  $p=0,003$ ), die  $\dot{V}O_{2\max}$  (km/h) (Verum:  $16,40 \pm 1,26$  vor auf  $17,00 \pm 1,15$  nach Therapie vs Placebo:  $15,83 \pm 2,04$  vor auf  $15,66 \pm 0,81$  nach Therapie –  $p<0,05$ ) und der Performance Test (Hoff Test in m) (Verum:  $1.374,40 \pm 95,13$  vor auf  $1.421,50 \pm 72,61$  nach Therapie vs Placebo:  $1.361,66 \pm 30,76$  vor auf  $1.342,16 \pm 35,55$  nach Therapie –  $p<0,05$ ) signifikant gegenüber den Placebo-versorgten Teilnehmern gesteigert werden [21].

Weiterführende Therapiestudien mit Dosierungen zwischen 300 – 400 mg natürlichem Q10 müssen zeigen, ob Zielwerte im Bereich von 2.500–4.000  $\mu\text{g/l}$  zu besseren Resultaten bei der Vermeidung von muskulären Verletzungen führen können, die Leistung dauerhaft steigern und die Performance-Fatigue reduzieren können.

### Fazit

Leistungssportler sind auf breiter Basis grenzwertig oder sogar Q10-mangelversorgt. Jugendliche unter 18 Jahren zeigen hierbei eine deutlich schlechtere Versorgung mit Serum-Q10 als die Erwachsenen. Eine tägliche Gabe von 400 mg Q10-Emulsion optimiert den Serum-Q10-Level, verbessert die mitochondriale Energieproduktion ATP und senkt die muskuläre Kreatinkinase, was Muskelverletzung vermeiden und die Performance-Müdigkeit reduzieren kann. Weiterführende Random-Studien mit höheren Dosierungen und dem Ziel, das Serum-Q10 dauerhaft in einen

adäquaten Bereich von 2.500–4.000  $\mu\text{g/l}$  über eine ganze Wettkampfsaison zu bringen, müssen zeigen, ob eine signifikante Reduktion von Performance-Müdigkeit oder muskulären Verletzungen und zusätzlich eine Leistungssteigerung zu erreichen ist.

Klaus Erpenbach  
Stefan Mücke  
Institut für medizinische Leistungsoptimierung  
und Trainingssteuerung  
Marienstraße 1  
50374 Ertstadt | Deutschland

Wolfgang Mayer  
Lab4More GmbH  
Bavariahaus, Augustenstraße 10  
80333 München | Deutschland

Uwe Hoffmann  
Robert Rein  
Deutsche Sporthochschule Köln  
Am Sportpark Müngersdorf 6  
50933 Köln | Deutschland

### Literatur

- [1] Rodriguez NR; DiMarco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41: 709–731

- [2] Kreider RB, Wilborn CD, Taylor L, Campbell B, Almada AL, Collins R et al. ISSN exercise & sport nutrition review: research & recommendations. *J Int Soc Sports Nutr* 2010; 7:1–43
- [3] Walsh NP, Gleeson M, Shephard RJ, et al. Position statement. Part one: immune function and exercise. *Exerc Immunol Rev* 2011;17:6–63.
- [4] Gleeson M, Pyne DB. Respiratory inflammation and infections in high-performance athletes. *Immunol Cell Biol* 2016;94:124–31.
- [5] Junge A, Engebretsen L, Mountjoy ML, et al. Sports injuries during the Summer Olympic Games 2008. *Am J Sports Med* 2009;37:2165–72.
- [6] Engebretsen L, Steffen K, Alonso JM, et al. Sports injuries and illnesses during the Winter Olympic Games 2010. *Br J Sports Med* 2010;44:772–80.
- [7] Engebretsen L, Soligard T, Steffen K, et al. Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012. *Br J Sports Med* 2013;47:407–14.
- [8] Soligard T, Steffen K, Palmer-Green D, et al. Sports injuries and illnesses in the Sochi 2014 Olympic Winter Games. *Br J Sports Med* 2015;49:441–7.
- [9] Junge A, Dvorak J, Graf-Baumann T. Football injuries during the World Cup 2002. *Am J Sports Med* 2004;32:23S–7.
- [10] Dvorak J, Junge A, Grimm K, et al. Medical report from the 2006 FIFA World Cup Germany. *Br J Sports Med* 2007;41:578–81.
- [11] Alonso JM, Tscholl PM, Engebretsen L, et al. Occurrence of injuries and illnesses during the 2009 IAAF World Athletics Championships. *Br J Sports Med* 2010;44:1100–5.
- [12] Alonso JM, Edouard P, Fischetto G, et al. Determination of future prevention strategies in elite track and field: analysis of Daegu 2011 IAAF championships injuries and illnesses surveillance. *Br J Sports Med* 2012;46:505–14.
- [13] Alonso JM, Jacobsson J, Timpka T, et al. Preparticipation injury complaint is a risk factor for injury: a prospective study of the Moscow 2013 IAAF championships. *Br J Sports Med* 2015;49:1118–24.
- [14] Kei M, Tanaka M, Nozaki S, Mizuma H, Ataka S, Tahara T, Sugino T, Shirai T, Kajimoto Y, Kuratsune H, Kajimoto O, Watanabe Y (2008) Antifatigue effects of coenzyme Q10 during physical fatigue. *Nutrition* 24: 293–299
- [15] Witt EH, Rezhick AZ, Viguie CA, Starke-Reed P, Packer L (1992) Exercise, oxidative damage and effects of antioxidant manipulation. *J. Nutr.*122: 766- 773
- [16] Frederick L, Crane PD (2001) Biochemical functions of coenzyme q10. *J Am Coll Nutrition* 20 (6): 591–598
- [17] Kon M, Tanabe K, Akimoto T, Kimura F. Reducing exercise-induced muscular injury in kendo athletes with supplementation of coenzyme Q10. *Brit J Nutr* 2008; 100(4) 903–909
- [18] Demirci N, Beytut E. Effects of oral coenzyme Q10 on preventing the accumulation of lactic acid developing during the exercise performances of endurance skiing athletes. *Am J Sports Sci* 2014; 2(3) 65–70
- [19] Alf D, Schmidt ME, Siebrecht S. Ubiquinol supplementation enhances peak power production in trained athletes: a double-blind, placebo controlled study. *J Int Soc Sports Nutr* 2013; 10: 24
- [20] Erpenbach K, Mücke S. Mitochondriale Ernährung. *Sportärztezeitung* 2017; 4: 88–91
- [21] Gharahdaghi, N, Shabkhiz F, Azarboo E, Keyhanian A (2013) The Effects of Daily Coenzyme Q10 Supplementation on VO2max, vVO2max and Intermittent Exercise Performance in Soccer Players. *Life Science Journal* 10: 22–28