



Bundesinstitut
für Sportwissenschaft



Wir helfen
dem Sport

Tim Meyer, Alexander Ferrauti, Michael Kellmann, Mark Pfeiffer (Hrsg.)

Regenerationsmanagement im Spitzensport (Teil 2)

REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen



Tim Meyer · Alexander Ferrauti · Michael Kellmann · Mark Pfeiffer (Hrsg.)

Regenerationsmanagement im Spitzensport (Teil 2)

REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Sonderpublikation des Bundesinstituts für Sportwissenschaft

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über „<http://dnb.d-nb.de>“ abrufbar.

Impressum

Herausgeber

Bundesinstitut für Sportwissenschaft
Graurheindorfer Straße 198 · 53117 Bonn
info@bisp.de
www.bisp.de

Stand

Januar 2020

Tim Meyer · Alexander Ferrauti · Michael Kellmann · Mark Pfeiffer (Hrsg.)

Regenerationsmanagement im Spitzensport (Teil 2)

1. Auflage 2020

ISBN 978-3-96523-032-3

Satz & Layout:

MUMBECK – Agentur für Werbung GmbH, Wuppertal

Umschlag:

MUMBECK – Agentur für Werbung GmbH, Wuppertal

Fotos/Umschlagfoto:

© Fotos S. 41, S. 99, S. 101: Dominic Pencz

Alle anderen Fotos entstanden während des „Regman“.

Herstellung:

Hoehl-Druck Medien + Service GmbH

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

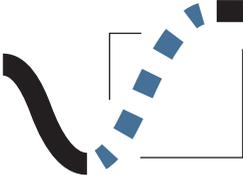
| | |
|---|-----------|
| Inhaltsverzeichnis | 3 |
| 1 Einleitung | 5 |
| <i>Tim Meyer, Alexander Ferrauti, Michael Kellmann & Mark Pfeiffer</i> | |
| 2 Zur Bedeutung eines individualisierten Regenerationsmanagements | 9 |
| <i>Anne Hecksteden</i> | |
| 3 Monitoring – methodische Wege zur täglichen Feinjustierung von Trainings- und Erholungssteuerung | 17 |
| <i>Christoph Schneider, Fabian Loch & Christian Rasche</i> | |
| 4 REGmon – ein intelligentes und innovatives Online-Portal für die Sportpraxis | 27 |
| <i>Christian Rasche & Mark Pfeiffer</i> | |
| 5 Psychologische Aspekte der Regeneration | 41 |
| 5.1 AEB und KEB – die psychometrische Basis des Monitorings | 43 |
| <i>Sarah Kölling & Michael Kellmann</i> | |
| 5.2 Mentale Ermüdung & Erholung | 55 |
| <i>Fabian Loch & Michael Kellmann</i> | |
| 5.3 Schlaf | 63 |
| <i>Annika Hof zum Berge, Sarah Kölling & Michael Kellmann</i> | |
| 6 Regenerationsmaßnahmen und deren individuelle Response | 75 |
| 6.1 Kaltwasserimmersion | 77 |
| <i>Sabrina Skorski & Felix Buder</i> | |
| 6.2 Aktive Erholung | 83 |
| <i>Thimo Wiewelhove</i> | |
| 6.3 Foam-Rolling | 91 |
| <i>Thimo Wiewelhove</i> | |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | Regenerationsbedürfnisse und Regenerationsmanagement in ausgewählten Sportarten | 99 |
| | 7.1 Eishockey | 101 |
| | <i>Annika Hof zum Berge & Michael Kellmann</i> | |
| | 7.2 Tennis | 109 |
| | <i>Thimo Wiewelhove & Alexander Ferrauti</i> | |
| | 7.3 Hallen-Volleyball | 121 |
| | <i>David Ochmann, Christian Rasche, Thiemo Pelzer & Mark Pfeiffer</i> | |
| 8 | Einfluss des Athletenalters auf das Regenerationsmanagement | 133 |
| | <i>Laura Hottenrott & Alexander Ferrauti</i> | |
| 9 | Allgemeine Empfehlungen zur Anwendung von Regenerationsmaßnahmen | 141 |
| | <i>Alexander Ferrauti & Mark Pfeiffer</i> | |
| | REGman-Publikationen (2016-2019) | 149 |

1 Einleitung

Tim Meyer, Alexander Ferrauti, Michael Kellmann & Mark Pfeiffer

1

 **REG**man



Das Interesse des Leistungssports am „Regenerationsmanagement“ (Kurzname des Projekts: REGman) ist ungebrochen, wie u. a. die Vielzahl internationaler Publikationen belegen. Ganz offenbar werden auf diesem Gebiet nach wie vor relevante Reserven im Hinblick auf die Leistungsoptimierung gesehen. Der erste 4-Jahres-Abschnitt von REGman I (2013-2016) umfasste im Wesentlichen die Entwicklung eines Diagnostikinventars aus psychometrischen, physiologischen, neuromuskulären und sportmotorischen (Surrogat-) Parametern für unterschiedliche Sportarten sowie die Evaluation der populärsten Regenerationsverfahren, festgelegt anhand von Präferenzen der Spitzenverbände. Bereits im Zuge der Bearbeitung dieser Fragen wurde deutlich, dass ein wesentliches Problem

für generalisierende Aussagen die Vielzahl an unterschiedlich methodischen Freiheitsgraden und Fragestellungen ist, die sich durch Sportartspezifika und die Individualität der Athleten ergeben. Insbesondere die folgenden drei Problemfelder konnten in REGman I herausgearbeitet werden und repräsentieren die Kernthemen des zweiten Abschnitts 2017-2020 von REGman II:

1. Individualität des Spitzensportlers
2. Auswahl, Applikation und Zeitpunkte von Regenerationsinterventionen
3. Sportart- und altersspezifische Besonderheiten

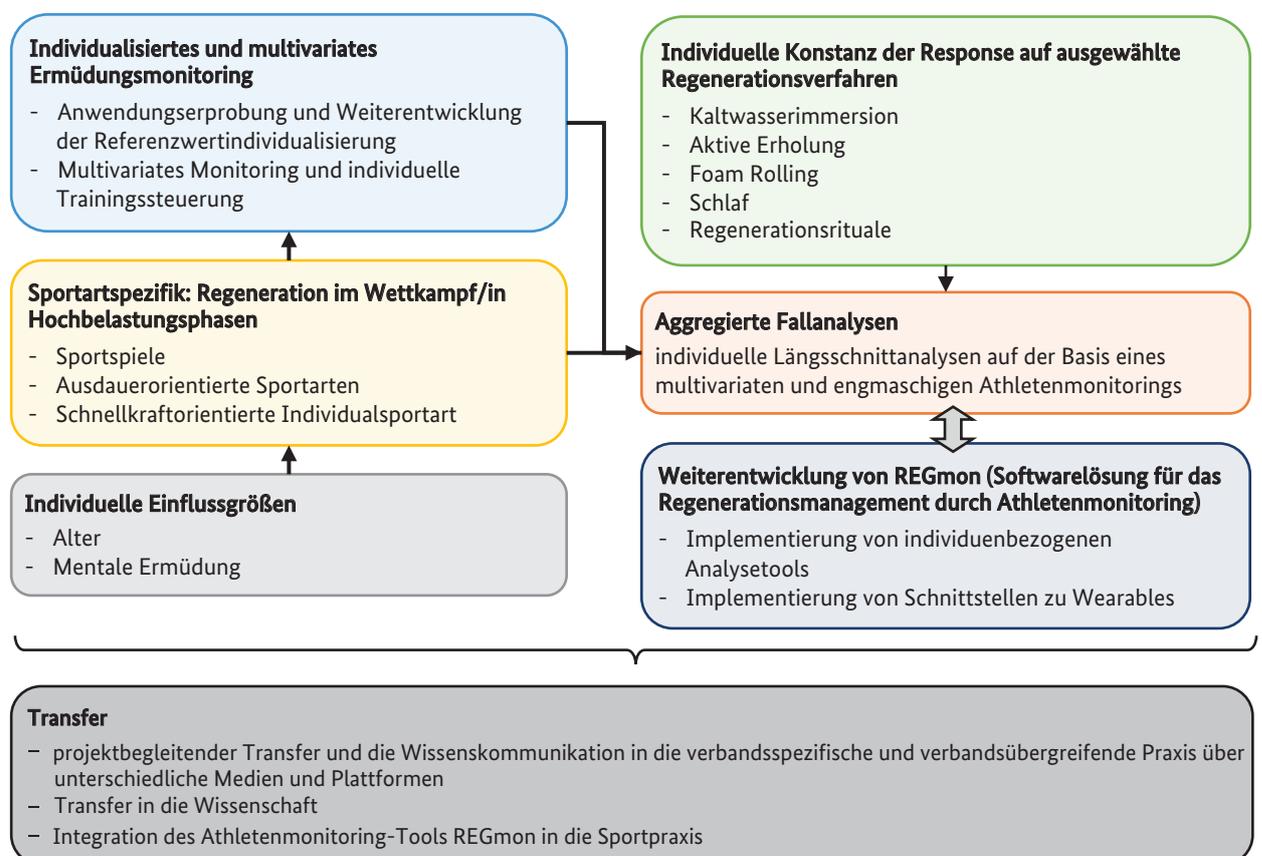


Abb. 1.1: Projektteile von REGman II (01/2017 – 12/2020).

Diese spiegeln sich weitgehend wider in den Projektteilen von REGman II (Abb. 1.1).

Die in REGman I an vielen Stellen nachgewiesene hohe Individualität im Bereich der Diagnostik, aber auch bei der Antwort auf Interventionen (Response vs. Non-Response) hat zweifellos gelegentlich zu überraschenden Resultaten geführt, denn sie verhindert viele signifikante Effekte auf Gruppenebene. Das Interesse der Sportpraxis verengt sich jedoch verständlicherweise gelegentlich auf die Frage: „Gibt es neue Methoden für uns, die beim Regenerieren helfen?“ An dieser Stelle sei deswegen darauf hingewiesen, dass auch negative Ergebnisse für praktische Zwecke eine große Bedeutung haben können. So lässt sich häufig ableiten, dass vorhandene zeitliche (und sonstige) Ressourcen anders verwendet werden können oder dass zumindest die flächendeckende Anwendung einer Regenerationsmethode nicht sinnvoll ist. Man kann auch folgern, dass eine sehr passgenaue Abbildung der sportartspezifischen Gegebenheiten im Rahmen einer Studie wichtig ist, weil ansonsten allein die marginalen Abweichungen vom Sportalltag aussagekräftige Resultate verhindern können. Dies gilt in besonderem Maße für Forschung im Themengebiet „Regenerationsmanagement“. Es wird überdies sehr deutlich, dass die klassische gruppenbasierte Methodik nicht zwangsläufig optimal ist für leistungssportliche Fragestellungen (zumindest im Bereich der Regeneration) und dass vielmehr individualisierende Vorgehensweisen oder angemessene Darstellungen der Einzelfälle erforderlich sind. Neben den genannten individuellen Referenzbereichen und Ansprechraten vergrößern die „natürlicher Weise“ im leistungssportlichen Kontext eher kleinen Effekte die Problematik.

Glücklicherweise ist neben derartigen Schwierigkeiten auch eine große Dynamik im leistungssportlichen Alltag vorhanden, so dass – auch ohne wissenschaftliche Untersuchungen – stetig Innovationen auftauchen, die vier Jahre zuvor (z. B. zum Beginn der ersten REGman-Projektphase) noch nicht abzusehen waren. Insofern ist es folgerichtig, dass wir auch neue Regenerationsverfahren aufgenommen haben, die zu Beginn des Projekts entweder noch wenig eingesetzt oder zumindest nicht so populär waren, dass sie von den Spitzenverbänden mit hoher Priorität versehen wurden. Foam Rolling und Power Naps zeichnen sich neben ihrer Verbreitung auch durch ihr geringes Potenzial für „Nebenwirkungen“ (zumindest für Power Naps) aus, so dass es gerechtfertigt erscheint, diese Maßnahmen genauer unter die Lupe zu nehmen.

Heutzutage kommt eine Übertragung von Ergebnissen in die leistungssportliche Praxis nicht mehr ohne digitale Hilfsmittel wie speziellen Softwareanwendungen oder Apps aus. Im Rahmen von REGman wurde mit REGmon (nimmt den Begriff „Monitoring“ auf) ein Tool zur Trainingsdokumentation und zur Beurteilung der Erholtheit entwickelt, das zunächst primär auf wissenschaftliche Zwecke ausgerichtet war, sich aber zunehmend auch an den Bedürfnissen der Praxis orientiert hat. Insbesondere mögliche Anpassungen an die diagnostischen Notwendigkeiten des Alltags, z. B. hohe Flexibilität bei der Parameterzusammenstellung und Datenauswertung sowie eine differenzierte Trainingsdokumentation, wurden gewährleistet und graphische Optionen erweitert. Darüber hinaus erfolgten zum Transfer in die Praxis natürlich sowohl wissenschaftliche Publikationen als auch Veröffentlichungen und Veranstaltungen für das nichtwissenschaftliche Publikum. Dazu zählt neben dieser Broschüre auch der Workshop am 13. und 14. Februar 2020 in Mainz.

2 Zur Bedeutung eines individualisierten Regenerationsmanagements

Anne Hecksteden

2



Die Ergebnisse wissenschaftlicher Studien basieren in aller Regel auf Gruppenmittelwerten z. B. für den Erfolg einer Regenerationsmaßnahme. Die bei einzelnen Personen beobachteten Werte können davon durchaus erheblich abweichen. Entsprechend ist die Anwendung gruppenbasierter Ergebnisse auf einzelne Athletinnen und Athleten immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Eine strukturierte Individualisierung versucht die Einzelperson präziser und sicherer zu charakterisieren als dies mit einem Gruppenmittelwert allein möglich ist. Gelingt dies, wird der Unterschied zwischen gruppenbasierter Forschung einerseits und der optimalen Betreuung einzelner Personen andererseits zumindest teilweise überbrückt (Hecksteden & Meyer, 2018; Hecksteden et al., 2017). Die durch eine Individualisierung prinzipiell realisierbare Verbesserung ist wesentlich vom Ausmaß der interindividuellen Variabilität abhängig, d. h. eine Individualisierung ist umso vielversprechender, je größer die Unterschiede zwischen Personen in dem interessierenden Bereich sind. Ob durch ein konkretes Individualisierungsverfahren tatsächlich relevante Verbesserungen in Genauigkeit und/oder Effektivität erreicht werden, sollte vor einem Einsatz in der (Sport-) Praxis daher jeweils kritisch überprüft werden.

Eine wesentliche Erkenntnis aus dem ersten REGman-Projektteil ist die erhebliche interindividuelle Variabilität im Bereich des Regenerationsmanagements bzw. die dadurch bedingte Unsicherheit beim Anwenden genereller Empfehlungen und Referenzbereiche auf einzelne Athleten (Hecksteden et al., 2016, 2017; Julian et al., 2017; Raeder et al., 2016; Wiewelhove et al., 2015). Dies betrifft sowohl die Beurteilung von Ermüdungsstatus und Regenerationsbedarf („individuelle Baseline“ und „individuelle Muster“ relevanter Indikatoren) als auch das Ansprechen auf regenerative Maßnahmen („individuelle Response“). Aufbauend auf diesen Befunden ergab sich eine Optimierung des Regenerationsmanagements für den individuellen Athleten

als wesentliches Prinzip des zweiten REGman-Projektteils. Neben einer Fort- und Weiterentwicklung der individualisierten Beurteilung des Regenerationsbedarfs („individualisierte Normbereiche“) (Hecksteden et al., 2017) standen dabei die Konstanz einer Response auf regenerative Maßnahmen, die Bedeutung individueller Nachbelastungsroutinen für die Regeneration und die Berücksichtigung sportartspezifischer Besonderheiten im Fokus.

Es ist zu beachten, dass eine nach wissenschaftlichen Kriterien durchgeführte Individualisierung erhöhte Anforderungen an Datenerhebung und -analyse stellt, die teilweise nicht ohne Weiteres mit den herrschenden Rahmenbedingungen im Spitzensport vereinbar sind. Um dennoch die Durchführbarkeit von Studien, insbesondere aber die Transfer- und Anwendungsfähigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, lag ein Hauptaugenmerk auf der Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen in enger Kooperation mit der Sportpraxis (Hecksteden & Meyer, 2018). Teilweise konnten die Ergebnisse inzwischen erfolgreich in die Sportpraxis überführt werden. Beispiel hierfür ist das individualisierte Monitoring des Regenerationsbedarfs welches u.a. in Badminton, Schwimmen, Fußball und Sportklettern Eingang in den Trainingsalltag gefunden hat. In anderen Bereichen soll der Entwicklungsbogen in der noch verbleibenden Projektlaufzeit abgeschlossen werden. Beispiel hierfür ist die individualisierte Zuordnung von Regenerationsmaßnahmen.

Die nachfolgend beschriebenen Elemente eines individualisierten Regenerationsmanagements verstehen sich als wissenschaftliche „Zuarbeit“ im Sinne einer mehrstufigen und mehrdimensionalen Annäherung an den einzelnen Athleten. Eine aussagekräftige sportpraktische Beratung und Betreuung erfordert darüber hinaus einen detaillierten Einblick in die Anforderungen und Rahmenbedingungen der jeweiligen Sportart und nicht zuletzt eine persönliche Kenntnis des

betreffenden Athleten einschließlich seiner persönlichen Erfahrungen und Gewohnheiten mit Regenerationsverfahren.

Individualisierte Beurteilung von Ermüdung und Erholung

Ziel einer „Ermüdungsdiagnostik“ ist die Maximierung von Trainingseffekten durch volle Ausnutzung der Belastbarkeitsreserven des einzelnen Athleten bei gleichzeitiger Vermeidung längerfristiger Regenerationsdefizite. Allerdings sind in diesem Rahmen auch Phasen denkbar, in denen gezielt eine gewisse Ermüdung (= Erholungsdefizit) angestrebt wird. Um einen solchen Balanceakt wirksam abzusichern, muss die Beurteilung des aktuellen Regenerationsbedarfs präzise und verlässlich sein. Leider sind die bekannten Ermüdungsmarker durchweg mit einer großen Variabilität behaftet (Hecksteden et al., 2017; Raeder et al., 2016; Wiewelhove et al., 2015). Die sich daraus ergebenden weiten Referenzbereiche beeinträchtigen die Genauigkeit bei einer Beurteilung des einzelnen Sportlers (Hecksteden et al., 2017).

Im ersten Projektteil von REGman konnte gezeigt werden, dass sich die individuellen „Niveaus“ für die einzelnen Ermüdungsmarker auch innerhalb scheinbar homogener Trainingsgruppen erheblich unterscheiden (Abb. 2.1). Entsprechend unterscheidet sich die Bedeutung eines gegebenen Messwerts, der durchaus über dem persönlichen Normalbereich des einen Sportlers, unter dem eines anderen Sportlers und gleichzeitig innerhalb des breiteren, gruppenbasierten Referenzbereichs liegen kann.

Die logische Konsequenz aus diesem Befund ist eine Individualisierung der Referenzbereiche. Da die Breite der individuellen Normbereiche stark

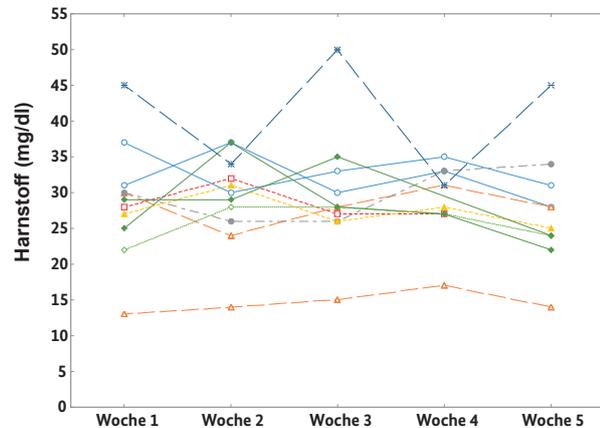


Abb. 2.1: Exemplarische Darstellung der interindividuellen Variabilität von Ermüdungsmarkern (Harnstoffkonzentration jugendlicher Schwimmer über fünf konsekutive Mikrozyklen der allgemeinen Vorbereitungsperiode, jeweils im erholtten Zustand am Morgen nach dem wöchentlichen Ruhetag. Zu den Details in der Methodik siehe (Hecksteden et al., 2017).

von der Zahl der Messwerte abhängt ist es sinnvoll von einem gruppenbasierten Referenzbereich auszugehen und diesen mit zunehmender Zahl individueller Messungen schrittweise zu individualisieren. Diese Bayesianische Strategie liegt auch dem sog. „Biologischen Athletenpass“ im Bereich der Dopingbekämpfung zugrunde. Da im Gegensatz zum Zweck der Aufdeckung von Doping in unserem Fall zwei physiologische Zustände abgegrenzt werden sollen (erholt vs. ermüdet), werden auch zwei Referenzbereiche gebildet (Abb. 2.2), so dass eine individuelle „Kalibration“ des Parameters erreicht werden kann (Barth et al., 2019). Die erwartete Überlegenheit individualisierter Normbereiche bei der Beurteilung des Ermüdungsstatus konnte inzwischen in mehreren Sportarten (Schwimmen, Triathlon, Badminton, Fußball empirisch bestätigt werden (Barth et al., 2019; Hecksteden et al., 2017; Skorski, Hecksteden, Pitsch & Meyer, 2017). Ein Excel Spreadsheet zur Anwendung des Verfahrens auf eigene Daten wurde mit der Erstpublikation veröffentlicht (Hecksteden et al., 2017).

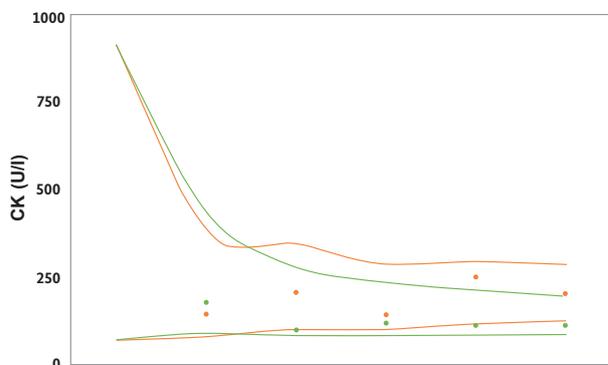


Abb.2.2: *Graduelle Individualisierung der 95%-Konfidenzintervalle für die Serumkonzentration der Kreatinkinase (CK) im erholten und ermüdeten Zustand für einen exemplarischen männlichen Sportler (Hecksteden et al., 2017). Grün: erholt (nach Ruhetag), Orange: Ermüdet (nach 4 konsekutiven Trainingstagen); Punkte: gemessene Werte.*

Das ursprüngliche Verfahren (Hecksteden et al., 2017) wurde inzwischen wesentlich weiterentwickelt. Von praktischer Bedeutung sind insbesondere quantitative Indikatoren des Regenerationsbedarfs und deren intuitive Visualisierung sowie die Übertragung des Prinzips der individualisierten Referenzbereiche auf psychometrische Indikatoren von Erholtheit und Beanspruchung [Kurzskala Erholung und Beanspruchung, Kellmann, Kölling & Hitzschke (2016), siehe dazu auch Hecksteden (2017)]. Darüber hinaus wurde das Verfahren, wegen des mehrdimensionalen Charakters trainingsbedingter Ermüdung, für die gemeinsame Beurteilung mehrerer Indikatoren generalisiert, wodurch eine weitere Verbesserung der diagnostischen Aussagekraft erreicht werden konnte (Pitsch, Hecksteden & Meyer, 2017).

Um die Anwendbarkeit dieser anspruchsvollen Verfahren in der Sportpraxis zu gewährleisten erfolgte die Implementierung in eine Webapplikation. Ziel war dabei ein schlankes, auf das Ermüdungsmonitoring fokussiertes Tool. Die Anwendungsbeobachtung im Spitzensport wurde

im Rahmen eines BISP-Transferprojekts erfolgreich abgeschlossen. Eine Implementierung in REGmon (s.u.) ist geplant.

Individualisierte Regenerationsförderung

Die mittleren Effekte bzw. die Effektstärken regenerationsfördernder Interventionen wie z. B. der Kaltwasserimmersion sind durchweg gering. Allerdings geht auch hier die in der Wissenschaft übliche und gerechtfertigte Gruppenbetrachtung in gewisser Weise an der Realität im Leistungssport vorbei, wo weniger ein „im Mittel günstiges Vorgehen“ gefragt ist, sondern ein für einen bestimmten Athleten optimales.

Reproduzierbarkeit der Response auf Regenerationsmaßnahmen

Die große Streuung der in wissenschaftlichen Studien beobachteten Effekte regenerationsfördernder Maßnahmen legt interindividuelle Unterschiede im Ansprechen auf bestimmte Regenerationsmaßnahmen nahe. Nur für sog. „Responder“, bei denen ein regenerationsfördernder Effekt beobachtet wurde, erscheint eine Anwendung prinzipiell sinnvoll. Für „Non-Responder“ sollte eine andere Interventionsform gewählt werden. Voraussetzung für eine in dieser Weise individualisierte Anwendung von Regenerationsmaßnahmen ist jedoch die Reproduzierbarkeit der „Response“ auf individueller Ebene, d. h. ein Sportler reagiert auf eine bestimmte Intervention immer wieder in gleicher Weise und somit vorhersagbar (Hecksteden et al., 2015). Alternativ wäre durchaus auch ein variables Ansprechen z. B. in Abhängigkeit von Umgebungsfaktoren denkbar. Ob die „Response“ auf Regenerationsmaßnahmen intra-individuell konstant ausfällt war bisher nicht bekannt und wird in REGman erstmalig unter-

sucht. Zwischenauswertungen deuten auf ein intraindividuell weitgehend konstantes Ansprechen auf eine bestimmte Regenerationsmaßnahme hin - bei gleichzeitig erheblichen Unterschieden zwischen verschiedenen Sportlern (vgl. Kap. 6.1). Sollten sich diese Ergebnisse bestätigen wäre eine individuelle Auswahl von Regenerationsmaßnahmen im Rahmen eines planvoll-vergleichenden Ausprobierens sinnvoll. Dabei sollte die Auswahl der in Frage kommenden Regenerationsmaßnahmen neben der mittleren (d. h. a priori zu erwartenden) Effektivität auch pragmatische Aspekte und nicht zuletzt die Präferenzen und Erfahrungen des einzelnen Sportlers berücksichtigen.

Bedeutung individueller Nachbelastungsroutinen

Eine alternative Erklärung für die teilweise erstaunlich geringen Effektstärken physiologisch plausibler Regenerationsmaßnahmen liegt in deren zeitlicher Konkurrenz mit persönlichen Nachbelastungsroutinen. Sowohl Regeneration als auch Trainingsanpassung erfordern nach dem Ende jeder Belastung eine Umstellung des Organismus von „Leistungserbringung/Stress“ auf „Erholung/Ruhe“. Persönliche Routinen können - weitgehend unabhängig von ihrem konkreten Inhalt - bei dieser Umstellung helfen. Deren Störung oder Verdrängung könnte sich entsprechend negativ auf die Regeneration auswirken. Im Kontext von Regenerationsmaßnahmen würde dies bedeuten, dass durch die Standardisierung und Veränderung der Nachbelastungsphase (wie es typischerweise in wissenschaftlichen Studien der Fall ist) der positive Effekt der persönlichen Routinen entfällt und durch die eventuelle Wirkung der Regenerationsmaßnahme ersetzt wird - bei entsprechend geringem „Nettoeffekt“.

In einer strukturierten Athletenbefragung am OSP Saarbrücken wurden persönliche Nachbelastungsroutinen von einem erheblichen Anteil der befragten Sportler bejaht. Allerdings war deren konkrete Ausgestaltung hochvariabel. Der experimentelle Nachweis eines regenerationsfördernden Effekts in einer Cross-Over Studie mit Scheinintervention steht jedoch noch aus. Im Sinne eines personalisierten Regenerationsmanagements könnte es dennoch sinnvoll sein nach Möglichkeit Rücksicht auf individuelle Nachbelastungsroutinen zuzunehmen, auch wenn deren Inhalt sportbezogen belanglos scheint.

Literatur

- Barth, V. N., Käsbauer, H., Ferrauti, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M., Hecksteden, A. & Meyer, T. (2019). Individualized monitoring of muscle recovery in elite badminton. *Frontiers in Physiology*, 10, 778. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00778>
- Hecksteden, A. (2017). *Individualized diagnosis of fatigue and recovery needs - Principles and tailored implementations*. Presented at the Annual Conference of the European College of Sports Science, Bochum.
- Hecksteden, A., Kraushaar, J., Scharhag-Rosenberger, F., Theisen, D., Senn, S. & Meyer, T. (2015). Individual response to exercise training – A statistical perspective. *Journal of Applied Physiology*, 118(12), 1450-1459.
- Hecksteden, A. & Meyer, T. (2018). Personalized sports medicine – Principles and tailored implementations in preventive and competitive sports. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 69, 73-80.
- Hecksteden, A., Pitsch, W., Julian, R. A., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A. & Meyer, T. (2017). A new method to individualize monitoring of muscle recovery in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 1137-1142.
- Hecksteden, A., Skorski, S., Schwindling, S., Hammes, D., Pfeiffer, M., Kellmann, M., . . . Meyer, T. (2016). Blood-borne markers of fatigue in competitive athletes – Results from simulated training camps. *PLoS One*, 11(2), e0148810. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148810>
- Julian, R., Meyer, T., Fullagar, H. H., Skorski, S., Pfeiffer, M., Kellmann, M., . . . Hecksteden, A. (2017). Individual patterns in blood-borne indicators of fatigue-trait or chance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 608-619.
- Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (2016). *Das Akutmaß und die Kurzskala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport – Manual*. Hellenthal: Sportverlag Strauß.
- Pitsch, W., Hecksteden, A. & Meyer, T. (2017). *Individualized detection of fatigue and recovery using multivariate data*. Presented at the Annual Conference of the European College of Sports Science, Bochum.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Westphal-Martinez, M. P., Fernandez-Fernandez, J., De Paula Simola, R. A., Kellmann, M., . . . Ferrauti, A. (2016). Neuromuscular fatigue and physiological responses after five dynamic squat exercise protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 953-965.
- Skorski, S., Hecksteden, A., Pitsch, W. & Meyer, T. (2017). *Individualized reference ranges to monitor fatigue in soccer*. Presented at the World Conference of Science in Soccer, Rennes.
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2015). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PLoS One*, 10(10), e0139801. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139801>

3 Monitoring – methodische Wege zur täglichen Feinjustierung von Trainings- und Erholungssteuerung

Christoph Schneider, Fabian Loch & Christian Rasche



Im Spitzensport ist das Monitoring (deutsch: Beobachtung, Überwachung) von Athleten seit geraumer Zeit ein zentrales Thema, insbesondere wenn es um die individualisierte Optimierung der Trainingssteuerung geht. Das routinemäßige Athletenmonitoring kann als Erweiterung der klassischen Verfahren und Methoden der Leistungsdiagnostik verstanden werden und dient u. a. dazu Belastungs- und Erholungsreaktionen verstehen zu können. Ziel ist es, hierüber fundierte Entscheidungen in Bezug auf Trainings- und Regenerationsmaßnahmen ableiten zu können. Verschiedene Publikationen der letzten Jahre haben sich mit hohem Praxisbezug dem Themenkomplex *Athletenmonitoring* gewidmet und empfehlen sowohl in Bezug auf Individual- als auch Mannschaftssportarten eine Vielzahl an möglichen Parametern und Analysemethoden (Bourdon et al., 2017; Coutts et al., 2018; Halson, 2014; Impellizzeri et al., 2019; McGuigan, 2017; Thornton et al., 2019; Williams et al., 2017).

Inhalte/Parameter des Athletenmonitorings

Im Athletenmonitoring können Parameter auf folgenden Ebenen unterschieden werden (Coutts et al., 2018; Ferrauti et al., 2020) (Abb. 3.1):

- Trainings-/Wettkampfbelastung (z. B. Trainingsinhalte und -umfänge, Geschwindigkeiten, Bewegungscharakteristika)
- Alltagsbelastung (z. B. Arbeit, Studium, Schule)
- Trainings-/Wettkampfbanspruchung (z. B. Herzfrequenz, Blutlaktat, subjektives Belastungsempfinden)
- Response (z. B. biologische Marker wie Kreatinkinase oder psychometrische Verfahren wie Akutmaß und Kurzskala Erholung und Beanspruchung (AEB/KEB, vgl. Kapitel 5), Muskelschmerzempfinden)

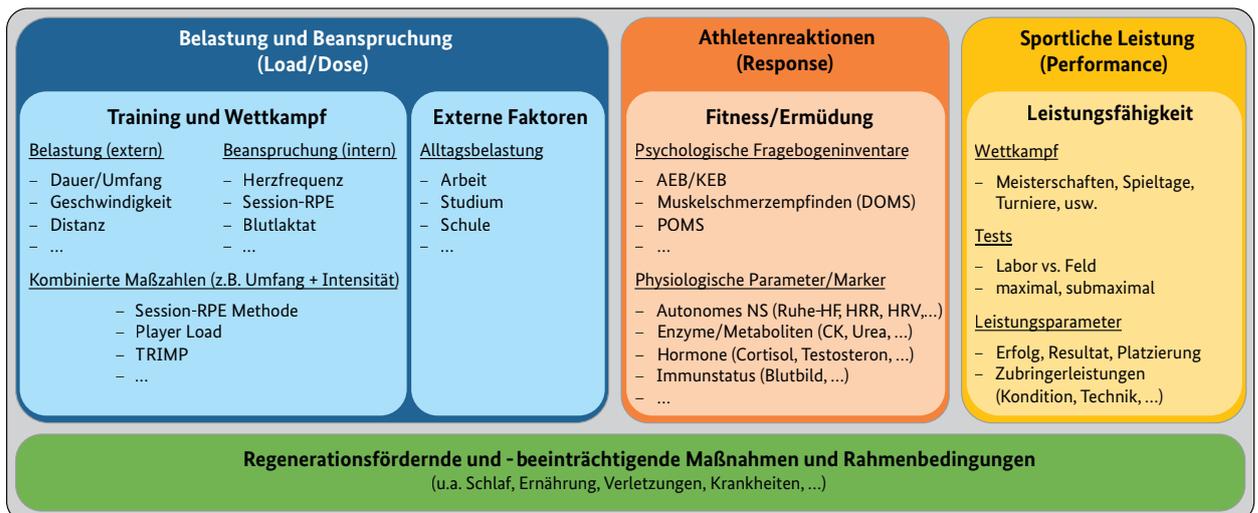


Abb. 3.1: Übersicht über verschiedene Parameter im Athletenmonitoring.

- sportliche Leistungsfähigkeit (idealerweise durch Testverfahren, die keine zusätzliche Beanspruchung für den Athleten verursachen)
- Regenerationsfördernde (z. B. Schlaf, Ernährung, passive und aktive Regenerationsverfahren) und regenerationsbeeinträchtigende Maßnahmen und Rahmenbedingungen (z. B. Verletzungen, Krankheiten)

Zur Belastungssteuerung haben sich kombinierte Load-Parameter bewährt. So wird beispielsweise zur Quantifizierung einer Trainingseinheit oftmals auf die aus Umfang und Intensität kombinierte Maßzahl Training Load zurückgegriffen (alternativ: Workload oder Load, wenn neben Training auch Wettkampfbelastung/-beanspruchung gemeint ist). Zur Bestimmung des Training Load wird die Belastungsdauer (external load) mit dem subjektivem Belastungsempfinden (internal load), ermittelt anhand der modifizierten zehnstufigen Borg-Skala (CR-10), multipliziert (Foster, 1998).

Struktur- und Prozessmodell zur Erstellung eines Athletenmonitoringsystems

In der Gesamtheit spricht man von einem sogenannten Athletenmonitoringsystem (AMS), das in einer weiten Definition sowohl die inhaltlich-strukturelle Ebene (z. B. Zielstellung, Test- und Parameterauswahl) als auch die Prozessebenen (Datenerfassung, -aufbereitung, -analyse, -interpretation und daraus folgende praktische Umsetzung) umfasst. In Kapitel 4 dieser Broschüre wird das im Rahmen von REGman entwickelte Athletenmonitoringtool REGmon mit Schwerpunkt auf der technischen Prozessebene inklusive softwareseitiger Umsetzung vorgestellt.

Als Orientierungshilfe für die Erstellung eines umfassenden Athletenmonitoringsystems wurde ein Struktur- und Prozessmodell erarbeitet. Das Modell soll es Akteuren im Spitzensport erleichtern, ein für das jeweilige Umfeld angepasstes AMS zu installieren. Zu Beginn müssen die Inhalte des AMS definiert werden, wobei hier insbesondere die konkreten Zielstellungen und Anforderungen der Praxis ausschlaggebend sind (Abb. 3.2).

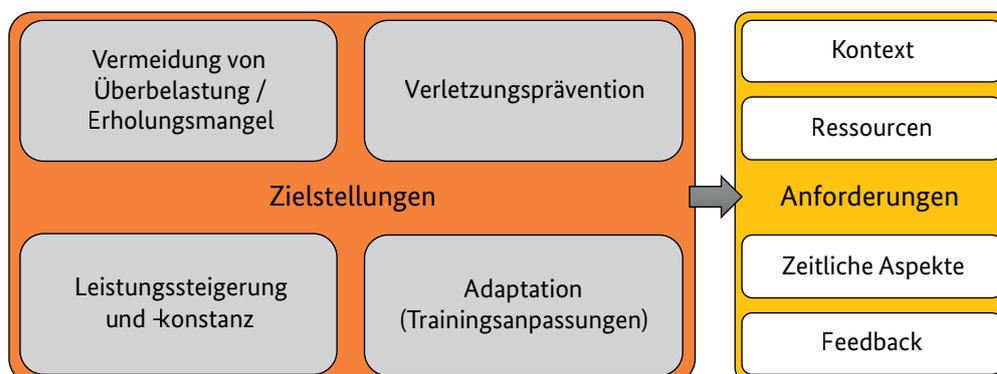


Abb. 3.2: Inhaltlich-strukturelle Elemente eines AMS im Kontext des Regenerationsmanagements.

Die inhaltliche Struktur eines AMS hängt davon ab, welche Ziele durch die Implementierung in den Trainingsalltag erreicht werden sollen. In Anlehnung an Hausswirth und Mujika (2013) lassen sich vier Zielstellungen unterscheiden:

1. Vermeidung von Überbelastung/ Erholungsmangel,
2. Verletzungsprävention,
3. Steigerung der Wettkampfleistung und Optimierung der Abrufbarkeit von Leistung (Leistungskonstanz),
4. Erfassung von Adaptationen (Trainingsanpassungen).

Die Ziele können je nach Praxissetting unterschiedliche Relevanz haben. So sind beispielsweise Trainingsanpassungen (4.) und Wettkampfleistungen (3.) in komplexen Sportarten wie den Spielsportarten schwieriger definierbar als in weniger komplexen Sportarten wie dem 100 m-Sprint. Die Vermeidung von Überbelastung (1.) ist je nach Wettkampfmodus unterschiedlich gut beeinflussbar: mehrmonatiger Saisonbetrieb mit ein bis mehrere Wettspiele pro Woche versus wenige Wettkampfhöhepunkte zur Qualifikation bei Meisterschaften/Olympiaden. Die Möglichkeiten der Verletzungsprävention (2.) sind unter anderem von der Verteilung der in der Sportart vorherrschenden Verletzungsmechanismen abhängig (Kontakt- versus Non-Kontakt-Verletzungen). In Deutschland sind in den jeweiligen beiden höchsten Ligen der vier großen Sportspiele Basketball, Eishockey, Fußball und Handball ca. 51-74% der Verletzungen auf Kontakt-Verletzungen zurückzuführen (Luig, Bloch, Burkhardt, Klein & Kühn, 2018). Das Potenzial der Verletzungsprävention ist somit (ohne entsprechende Regeländerungen) auf den restlichen Anteil von indirekter Kontakt- und Non-Kontakt-Verletzungen beschränkt.

Im nächsten Schritt werden die Inhalte des AMS durch die Anforderungen des jeweiligen Umfelds bestimmt. Der sportspezifische *Kontext* ist offensichtlich prägend und wird zusätzlich durch weitere Rahmenbedingungen wie Verbandsvorgaben, Sportler- und Trainerwünsche beeinflusst. Finanzielle-, personelle und technologische *Ressourcen* bestimmen ebenfalls maßgeblich in welchem Umfang und mit welchen Möglichkeiten ein Monitoring umgesetzt werden kann. Ohne adäquate (informations-) technologische Infrastruktur und bei einem kleinen Trainer- und Funktionsteam ist der Umfang eines AMS sowie die Effizienz der Auswertungsprozesse durch die Analyse- und Softwareerfahrungen der Akteure ggf. deutlich limitiert. Auf *zeitlicher* Ebene ist entscheidend, ob Informationen kurz-, mittel- oder langfristig betrachtet werden sollen (z. B. Akutreaktionen versus Leistungsaufbau). Dies wiederum bedingt mit welcher Frequenz die Daten zu erfassen (punktuell, wiederkehrend, stetig) und zu analysieren (live, periodisch, bedarfsorientiert) sind. Weiterhin ist die Art des *Feedbacks* zu definieren (z. B. Live-Feedback während Training/Wettkampf, bedarfsorientiert, periodisch-evaluierend; objektiv oder mit Experteneinschätzung). Abschließend muss der Verwendungszweck des Athletenmonitorings bestimmt werden. Hierfür sollte beantwortet werden, ob die unmittelbare Entscheidungsfindung im Vordergrund steht, Planungsprozesse datengestützt begleitet und optimiert werden sollen oder evidenz-/erfahrungsgenerierende Analysen im Zentrum der AMS Implementierung stehen.

Auf dieser Basis muss ein Monitoring-Prozess entwickelt werden, welcher auf das jeweilige Umfeld angepasst und optimiert ist und die Kompetenzen der handelnden Akteure berücksichtigt. Nur dann kann ein AMS die Erwartungen erfüllen und bietet einen Mehrwert für die Sportpraxis (Abb. 3.3).

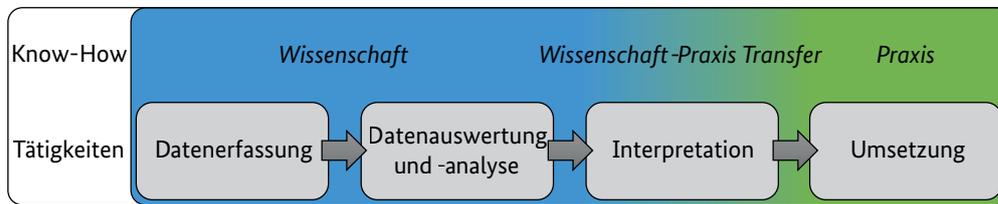


Abb. 3.3: Prozessuale Elemente und beteiligte Akteure eines AMS.

Zu Beginn des eigentlichen Monitorings erfolgt die *Datenerfassung*. Die verwendeten Testmethoden sowie die *Datenauswertung und -analyse* sollten dabei möglichst hohen wissenschaftlichen Qualitätsstandards entsprechen. Anschließend ist entscheidend, dass die relevanten Daten übersichtlich und selbsterklärend präsentieren werden. Damit soll sichergestellt werden, dass die gewonnenen Informationen von allen am Monitoringprozess beteiligten Personen hinreichend verstanden und, falls erforderlich, zeitnah entsprechende Trainingsanpassungen vorgenommen werden können. Die Datenauswertung kann beispielsweise in Form von kompakten täglichen *Reports* oder über digitale *Dashboards* erfolgen (siehe Kapitel 4). Neben analytischen Aspekten sollten vor allem die Bedürfnisse und Wünsche der Adressaten (Trainer/Betreuer/Athleten) berücksichtigt werden. Im nächsten Schritt der *Interpretation* werden wissenschaftliche Evidenz und praktisches Erfahrungswissen zusammengeführt, um plausible Erklärungsansätze zu generieren. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass ein Athletenmonitoring nur in den seltensten Fällen ein vollumfassendes Bild der komplexen Sportpraxis liefern kann. Aus diesem Grund können datengestützte Informationen selbst bei höchsten Qualitätsstandards immer nur eine Orientierung liefern und einen allgemeinen Handlungsrahmen für die Praxis aufzeigen. Im letzten Schritt erfolgt die *Umsetzung* von Trainings- und Regenerationsstrategien durch die Akteure in der Sportpraxis.

Mithilfe einfacher Leitfragen lassen sich Inhalte, Abläufe und Verantwortlichkeiten definieren und konkrete Aufgaben verteilen. Eine leitfragengestützte Ausdifferenzierung ist erfahrungsgemäß von großer Bedeutung. Sinnvolle Leitfragen können beispielsweise sein: Wer erhebt die Daten? Wie werden die Daten analysiert? An wen werden die Ergebnisse zurückgemeldet (z. B. Sportler*innen, Trainerteam, betreuendes Personal)? Das reine Erfassen von Daten ist heutzutage aufgrund jüngster Technologieentwicklungen einfacher denn je. Die Herausforderungen des Athletenmonitorings entstehen oft bei den Folgeschritten, wenn nicht unmissverständlich geklärt ist, was zu welchem Zeitpunkt und von wem erfasst und analysiert wird, oder aber, wenn im Vorhinein unklar ist, welche Ergebnisse wie interpretiert werden und welche Maßnahmen anschließend eingeleitet werden.

Implementierung in den Trainings- und Coachingalltag

Ein Monitoring soll jedoch keinesfalls als Ersatz für die tägliche und persönliche Kommunikation zwischen Trainer und Athleten verstanden werden, sondern dient vor allem dazu, subjektive Eindrücke und intuitive Entscheidungen mit objektiven Beobachtungsdaten zu ergänzen. Der größte Nutzen für die tägliche Feinjustierung ist dann gegeben, wenn eine umfassende, individuelle Datenbasis vorhanden ist und damit aktuelle Auffälligkeiten im Kontext vergleichbarer Situa-

tionen bewertet werden können (Ferrauti et al., 2020). Um aus der daraus resultierenden Datenflut nützliche Informationen für die Belastungs- und Erholungssteuerung zu identifizieren, bedarf es intelligenter Analysemethoden. Die wenigsten auf dem Markt angebotenen Systeme (Software, Technologien der Datenerhebung und -interpretation) sind bislang ausreichend erprobt oder können evidenzbasierte Ableitungen/Handlungsempfehlungen für den Einzelnen bereitstellen (siehe Kapitel 4). Dies ist unter anderem auf die Vielzahl potenzieller Monitoring-Parameter zurückzuführen und der Schwierigkeit, diese eindeutig zu den oben genannten Parameter-Ebenen zuordnen zu können (Beispiel: Ist die Geschwindigkeit bei 4 mmol/l der *Fitness* oder der *sportlichen Leistung* zuzuordnen? Vgl. Abbildung 3.1 *Response* versus *Performance* Ebene). Weitere Herausforderungen bestehen darin, eine ausreichend lange individuelle Baseline zu erheben und für jeden Parameter eine (statistisch) begründete Unterscheidung zwischen *zufälligen* und *handlungsbedürftigen* Veränderungen vorzunehmen (univariate Sichtweise) oder aber gegenläufige Entwicklungsverläufe mehrerer Parameter gleichzeitig zu interpretieren (multivariate Sichtweise) (Bailey, 2019; Ferrauti et al., 2020; Hecksteden et al., 2018; Julian et al., 2017; Schneider et al., 2018; Thorpe et al., 2017).

Trotz des enormen Entwicklungstempos im Bereich der (teil-) automatisierten Datenerhebung (z. B. mittels *Wearables*), steht die eigentliche Entwicklung intelligenter Lösungen für das Athletenmonitoring erst am Anfang. Diese Diskrepanz führt im Spitzensport u. a. zu einer regen Diskussion darüber, welche Daten „überflüssig“ und welche berücksichtigungswürdig sind (Cardinale & Varley, 2017; Link, 2018). Aus Sicht der Projektgruppe ist bei der Neuanschaffung von Technologien und vor allem bei der Implementierung vermeintlich „neuer Methoden“ im Spitzensport eine besondere Vorsicht geboten, da eine unabhängige Evaluierung der Produkte in der Regel, wenn überhaupt erst

erheblich nach deren Markteinführung erfolgt (Sperlich & Holmberg, 2017). Als Orientierungshilfe zur Test- und Parameterauswahl wurden im Rahmen der ersten REGman-Projektphase eine Vielzahl an potenziellen Methoden zur Ermüdungsdiagnostik in unterschiedlichen, stark beanspruchenden Trainingssettings evaluiert. Eine Übersicht der sensitiven Ermüdungsindikatoren wurden in der REGman-Broschüre publiziert (Meyer et al., 2016, S. 106).

Neben der Auswahl adäquater Testverfahren und Messgrößen, sollten speziell kommerzielle Produkte (Geräte einschließlich Software, Monitoringsysteme) kritisch geprüft werden und folgenden Anforderungen genügen (Ferrauti et al., 2020):

1. Nachgewiesene Evidenz der erhobenen Parameter für das Belastungs- und Erholungsmonitoring (in unterschiedlichen Sportarten).
2. Individualisierte und repräsentative Baseline-Erhebung für alle verwendeten Parameter (idealerweise in definierten gut erholteten und hochbelasteten Zuständen).
3. Abgrenzung zwischen zufälligen und überzufälligen Abweichungen tagesaktueller Messwerte von der individuellen Baseline (univariate Beurteilungsgenauigkeit).
4. Statistisch oder theoretisch begründete Abwägung mehrerer gleichzeitig erhobener Parameter (multivariate Beurteilungsgenauigkeit).

Anforderung 1: In eigenen Untersuchungen (Hecksteden et al., 2016; Hitzschke et al., 2017; Meyer et al., 2016; Raeder et al., 2016; Wiewelhove et al., 2015) wurde die Sensitivität ausgewählter Ermüdungsparameter für verschiedene Beanspruchungsformen evaluiert. Psychometrische Verfahren sind im Allgemeinen sinn-

voll und zeitökonomisch einsetzbar, aber nur bedingt hinreichend differenzierend für alle Belastungsformen nutzbar. Demgegenüber werden Leistungsdaten zwar als sensitiv für Belastungs- und Erholungszustände angesehen, die Testverfahren hierfür sind jedoch in den seltensten Fällen für eine regelmäßige Erhebung in der Praxis geeignet (z. B. Ausbelastungstests sind nicht rückwirkungsfrei). Von den bekannten Labormarkern sind bei Ausdauerbelastungen verschiedene Möglichkeiten gegeben (z. B. Harnstoff, IGF-1, CK, freies Testosteron, Cortisol und CRP), bei Kraft-/Schnellkraft sowie bei hochintensiven intermittierenden Belastungen sind hingegen nur CK und mit Einschränkungen CRP für eine Beurteilung der Regenerationsbedürftigkeit zu empfehlen.

Anforderung 2: Bei zahlreichen potenziellen Markern kann von einer hohen interindividuellen Merkmalsvariabilität ausgegangen werden. Psychometrische Skalen könnten bspw. interindividuell sehr unterschiedlich interpretiert werden, aber auch physiologische Reaktionen weisen häufig eine hohe Individualität auf (z. B. sog. „Responder“ und „Non-Responder“ für CK-Auslenkungen). Folglich wird vorgeschlagen, die ausgewählten Monitoring-Parameter in ausreichender Messwiederholung unter vorab definierten Rahmenbedingungen (vollständig erholt versus komplett ermüdet) zu erfassen (vgl. Hecksteden et al., 2017). Diese individuellen Baseline-Referenzwerte sind die Grundlage für eine zuverlässige Feinjustierung der Belastungs- und Erholungssteuerung.

Anforderung 3: Auch bei Vorliegen einer individuellen Baseline bleibt jedoch zu klären, wie groß die Abweichung eines Parameters von dieser Norm sein muss, um eine trainingspraktische Relevanz zu erlangen. So kann beispielsweise im Counter Movement Jump ein Leistungsabfall von 3 cm *zufällig* sein oder bereits ein Anlass zur Trainingsanpassung darstellen. Weit verbreitet ist hier die Verwendung messfehlerbasierter

Kenngrößen (z. B. der sogenannte *standard error of measurement*, oft auch als *typical error* bezeichnet; Atkinson & Nevill, 1998). Liegen bereits a priori Verteilungen bei repräsentativen Stichproben sowie eine Reihe von individuellen Messwerten in erholtem und ermüdetem Zustand vor, wie bei klassischen Labormarkern (z. B. CK), dann kann die Normwertindividualisierung angewendet werden (Hecksteden et al., 2017, 2018; Meyer et al., 2016). Hierbei werden individuenbezogene Korridore für „ermüdet“ und „erholt“ mittels bedingter Wahrscheinlichkeiten definiert (vgl. Kapitel 2 Zur Bedeutung eines individualisierten Regenerationsmanagements).

Anforderung 4: Sofern mit unterschiedlichen Methoden erhobene Daten vorliegen (multivariable Beurteilung), wird die Einordnung erleichtert, wenn die Veränderungen aller Parameter interpretativ konsistent sind: z. B. ein Abfall der Leistung im Counter Movement Jump, hohe CK-Werte außerhalb der individuellen Norm, Muskelschmerzen und ein geringer allgemeiner Erholungszustand im KEB. Problematisch wird die Entscheidungsfindung jedoch dann, wenn die Tendenz der Veränderungen unterschiedlich ausfällt. In Zukunft sollten die Bemühungen hinsichtlich einer multivariaten Betrachtung weiter verstärkt werden.

Zusammenfassend besitzt das Athletenmonitoring eine wichtige Rolle bei Feinjustierung und Individualisierung der Belastungs- und Erholungssteuerung. Praktiker sollten neue und innovative *Monitoring-Tools* zunächst mit Vorsicht behandeln, da den oben genannten Anforderungen oft allein schon mangels unabhängiger Überprüfung nicht entsprochen werden kann. Nach aktuellem Kenntnisstand kann der Sportpraxis empfohlen werden, Handlungsentscheidungen stets im vertrauensvollen Austausch zwischen Athleten und Trainer (sowie nach Möglichkeit unter Einbezug des sportwissenschaftlichen Betreuerstabs) mit Unterstützung eines Athletenmonitorings zu treffen.

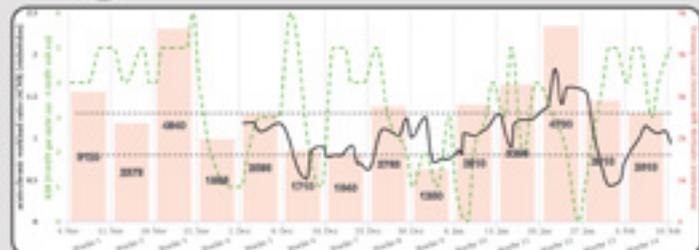
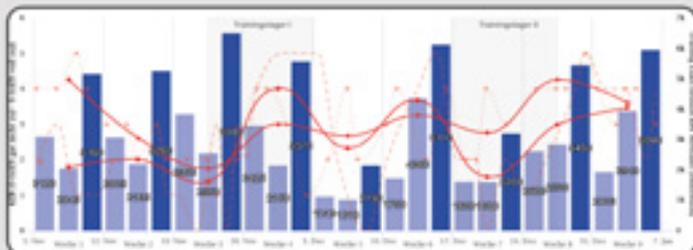
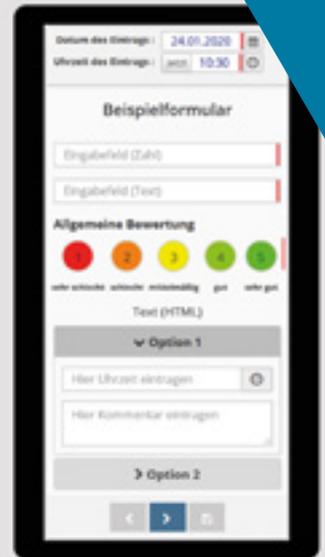
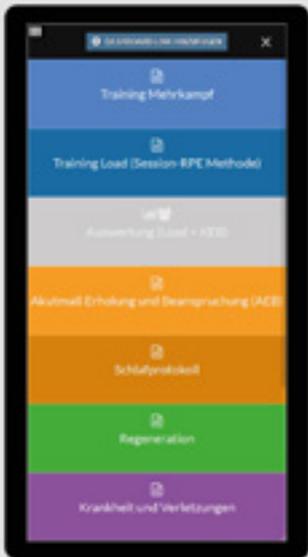
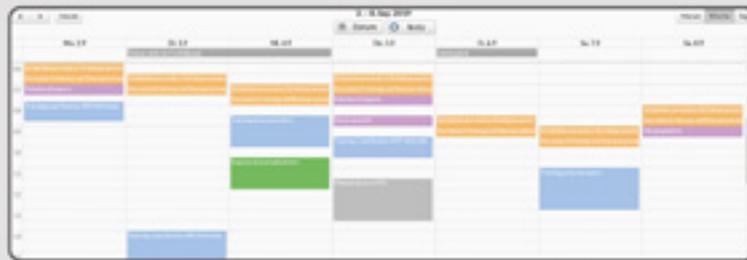
Literatur

- Atkinson, G. & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238.
- Bailey, C. (2019). Longitudinal monitoring of athletes: Statistical issues and best practices. *Journal of Science in Sport and Exercise*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s42978-019-00042-4>
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., . . . Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), 2161-2170.
- Cardinale, M. & Varley, M. C. (2017). Wearable training-monitoring technology: Applications, challenges, and opportunities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), 255-262.
- Coutts, A. J., Crowcroft, S. & Kempton, T. (2018). Developing athlete monitoring systems: Theoretical basis and practical applications. In M. Kellmann & J. Beckmann (Hrsg.), *Sport, recovery and performance: Interdisciplinary insights* (S. 19-32). Abingdon: Routledge.
- Ferrauti, A., Schneider, C. & Wiewelhove, T. (2020). Leistungssteuerung im Sport. In A. Ferrauti (Hrsg.), *Trainingswissenschaft für die Sportpraxis: Lehrbuch für Bachelor und Masterstudiengänge im Fach Sportwissenschaft*. Heidelberg: Springer.
- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(7), 1164-1168.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(Suppl 2), 139-147.
- Hauswirth, C. & Mujika, I. (2013). Introduction. In C. Hauswirth & I. Mujika (Hrsg.), *Recovery for performance in sport* (S. xi-xiii). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hecksteden, A., Pitsch, W., Julian, R., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A. & Meyer, T. (2017). A new method to individualize monitoring of muscle recovery in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1137-1142.
- Hecksteden, A., Pitsch, W., Rosenberger, F. & Meyer, T. (2018). Repeated testing for the assessment of individual response to exercise training. *Journal of Applied Physiology*, 124(6), 1567-1579.
- Hecksteden, A., Skorski, S., Schwindling, S., Hammes, D., Pfeiffer, M., Kellmann, M., . . . Meyer, T. (2016). Blood-borne markers of fatigue in competitive athletes - results from simulated training camps. *PLoS ONE*, 11(2), e0148810. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148810>
- Hitzschke, B., Wiewelhove, T., Raeder, C., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., . . . Kölling, S. (2017). Evaluation of psychological measures for the assessment of recovery and stress during a shock-microcycle in strength and high-intensity interval training. *Performance Enhancement & Health*, 5(4), 147-157.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M. & Coutts, A. J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270-273.

- Julian, R., Meyer, T., Fullagar, H. H. K., Skorski, S., Pfeiffer, M., Kellmann, M., . . . Hecksteden, A. (2017). Individual patterns in blood-borne indicators of fatigue-trait or chance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 608-619.
- Link, D. (2018). Sports analytics: Wie aus (kommerziellen) Sportdaten neue Möglichkeiten für die Sportwissenschaft entstehen. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 48(1), 13-25.
- Luig, P., Bloch, H., Burkhardt, K., Klein, C. & Kühn, N. (2018). VBG-Sportreport 2018: *Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball und Handball* (Version 1.0/2018-10). Hamburg: VBG.
- McGuigan, M. (2017). *Monitoring training and performance in athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport: REGman - Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Simola, R. Á. D. P., Kellmann, M., Meyer, T., . . . Ferrauti, A. (2016). Assessment of fatigue and recovery in male and female athletes after 6 days of intensified strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3412-3427.
- Schneider, C., Hanakam, F., Wiewelhove, T., Döweling, A., Kellmann, M., Meyer, T., . . . Ferrauti, A. (2018). Heart rate monitoring in team sports: A conceptual framework for contextualizing heart rate measures for training and recovery prescription. *Frontiers in Physiology*, 9, 639. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00639>
- Sperlich, B. & Holmberg, H.-C. (2017). Wearable, yes, but able...? It is time for evidence-based marketing claims! *British Journal of Sports Medicine*, 51(16), 1240.
- Thornton, H. R., Delaney, J. A., Duthie, G. M. & Dascombe, B. J. (2019). Developing athlete monitoring systems in team sports: Data analysis and visualization. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(6), 698-705.
- Thorpe, R. T., Atkinson, G., Drust, B. & Gregson, W. (2017). Monitoring fatigue status in elite team-sport athletes: Implications for practice. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), 227-234.
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2015). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PLoS ONE*, 10(10), e0139801. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139801>
- Williams, S., Trewartha, G., Cross, M. J., Kemp, S. P.T. & Stokes, K. A. (2017). Monitoring what matters: A systematic process for selecting training load measures. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), 101-106.

4 REGmon – ein intelligentes und innovatives Online-Portal für die Sportpraxis

Christian Rasche & Mark Pfeiffer



Athletenmonitoring im Zeichen der Digitalisierung – Worum geht es?

Die Digitalisierung hat als eine der großen, anhaltenden Veränderungen unserer Gesellschaft nicht nur unsere Kommunikation revolutioniert, sondern auch wie wir unsere sportliche Betätigung erfassen und auswerten. Nicht zuletzt aufgrund der technologischen Entwicklungen ist in den letzten Jahren ein zunehmender Trend erkennbar, zum Zwecke der Optimierung des Trainingsprozesses nahezu immer und überall Daten von und über Sportlerinnen und Sportler und deren Aktivitäten zu sammeln. Sowohl im Freizeit- als auch im Leistungssport haben mobile Geräte zur Erfassung körperlicher Belastung und Beanspruchung Einzug gehalten. Dies ist über Smartphones, Tablets, Wearables (u. a. Fitness Tracker) und sonstige elektronische Geräte zunehmend einfach und unkompliziert realisierbar. Im Fall von Wearables wie GPS-Trackern oder Herzfrequenzuhren erfolgt dies sogar (teil)automatisiert.

Das *Athletenmonitoring*, als systematische und planmäßige Datendokumentation und -analyse zur Optimierung der Trainingssteuerung, erlebt aktuell einen regelrechten Boom in Wissenschaft und Sportpraxis. Es hat in den letzten Jahren vor allem im Zusammenhang mit dem Thema „Regeneration“ an Bedeutung gewonnen (Schwellnus et al., 2016; Soligard et al., 2016) und stellt als Grundlage für ein individuenbezogenes Regenerationsmanagement im Spitzensport einen eigenen Arbeitsschwerpunkt in REGman dar. Ziel ist es, über die prozessbegleitende Erhebung und Analyse von Belastungs- (external load) und Beanspruchungskenngrößen (internal load) sowie weiterer Indikatoren den Ermüdungszustand und Regenerationsbedarf von Athletinnen und Athleten frühzeitig zu identifizieren und unerwünschten Überbelastungszuständen mit entsprechenden Trainings-

maßnahmen und/oder dem Einsatz regenerationsfördernder Maßnahmen entgegenzuwirken.

Die hierbei eingesetzten Technologien haben sich im Laufe der letzten Jahre stark verändert. Während man bei der Datendokumentation und -analyse lange Zeit auf Stift und Papier zurückgreifen musste, werden heutzutage Softwarelösungen, die von einfachen Kalkulationsprogrammen, wie Excel, bis hin zu spezialisierten und zeitökonomischen Programmen reichen, eingesetzt. Letztere bieten neben der Anwendung komplexer Algorithmen (z. B. Acute:Chronic Workload Ratio) die Möglichkeit, die verschiedenen Arbeitsschritte in einem System zu integrieren. Man kann in diesem Fall von einem Athletenmonitoringsystem (AMS) sprechen, das in Anlehnung an Thornton et al. (2019) durch folgende Systemelemente gekennzeichnet ist (Abb. 4.1):

- Datenerfassung – Welche Daten werden wie gesammelt?
- Datenaufbereitung und -analyse – Wie sehen die Daten aus und was sagen sie uns?
 - Berechnungen und Datenaggregation
 - Bestimmung bedeutsamer zeitlicher Veränderungen und Auffälligkeiten
- Ergebnisdarstellung und Entscheidungsunterstützung für die Sportpraxis – Wie und wann wird trainiert und regeneriert?

Im Projektverlauf von REGman hat sich frühzeitig herausgestellt, dass für Längsschnittstudien im Spitzensport ein interaktives Online-Portal mit der Option zum Athletenmonitoring substanzielle Vorteile bietet. Dies betrifft sowohl die Datenerfassung als auch die Kommunikation mit der Sportpraxis. Aus diesem Grund wurde flankierend zu den empirischen Studien die

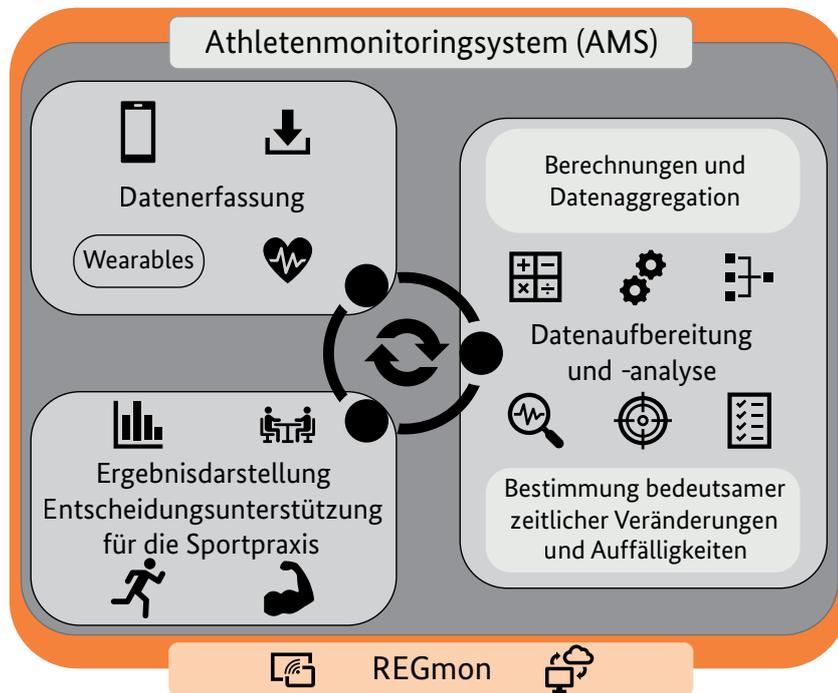


Abb. 4.1: Der Prozess des Athletenmonitorings in REGmon.

browserbasierte Athletenmonitoringsoftware *REGmon* entwickelt, die als zentrale Plattform für den Wissenstransfer in die Sportpraxis dient. Der Name *REGmon* wurde als Kurzform für „Regenerationsmanagement durch Athletenmonitoring“ und in Anlehnung an den Projekttitle *REGman* gewählt.

Im Nachfolgenden werden zunächst die Anforderungen an ein AMS aus Sicht der Sportpraxis dargestellt, bevor *REGmon* anhand der drei übergeordneten Kategorien „Datenerfassung“, „Datenaufbereitung und -analyse“ sowie „Ergebnisdarstellung und Entscheidungsunterstützung für die Sportpraxis“ genauer präsentiert und ein Ausblick auf die geplanten Weiterentwicklungen gegeben wird. Den Abschluss dieses Kapitels bildet eine Übersicht zu weiteren auf dem Markt angebotenen AMS. Wie das Athletenmonitoring in den Trainings- und Wettkampfalltag eingebunden werden kann, ist Inhalt von Kapitel 3 dieser Broschüre.

Anforderungen aus Sicht der Praxis – Was wird verlangt?

Ausgangspunkt für die Ausgestaltung eines AMS sind die Bedürfnisse der Sportpraxis, denn ohne deren Verständnis, Engagement und Fleiß (buy-in) ist der Einsatz wenig erfolgversprechend. Die konkrete Umsetzung erfolgt häufig sportarten- oder sportartengruppenspezifisch, wobei die individuelle Betrachtung im Mittelpunkt steht. Auch dann, wenn anhand der Informationen mannschaftsbezogene Entscheidungen abgeleitet werden. Ziel ist es, entscheidungsunterstützende AMS für das Belastungsmanagement in den Trainings- und Coachingalltag zu integrieren (Gabbett et al., 2017; Robertson et al., 2017).

Aus Sicht der Nutzer*innen sollte jedes AMS wissenschaftlich fundiert und gleichzeitig einfach, sportler-/trainernah, praktikabel und kostengünstig sein. Dabei sind sowohl die Beachtung der jeweiligen Zielstellung (vgl. Kapitel 3) als auch die Compliance seitens der Nutzer*innen

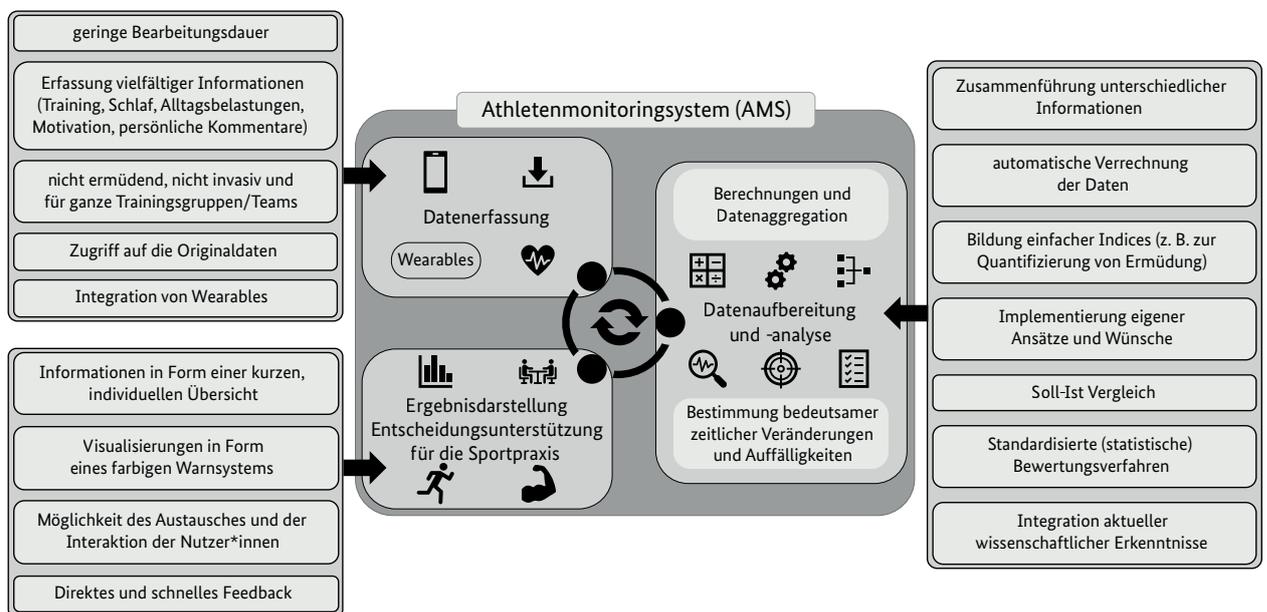


Abb. 4.2: Anforderungen an Athletenmonitoringsysteme seitens Sportler*innen, Trainer*innen und betreuendem Personal (Roos et al., 2013; Starling & Lambert, 2018).

(Sportler*innen, Trainer*innen, betreuendes Personal usw.) unabdingbar. Im Kontext Leistungssport bestehen die besonderen Erwartungen an ein AMS u. a. darin, Verletzungen zu reduzieren, Trainingsbelastungen zu steuern, Ermüdung zu erkennen, Leistungsveränderungen sichtbar zu machen und Regenerationsmaßnahmen genauer zu planen. An dieser Stelle ist jedoch hervorzuheben, dass der Einsatz eines AMS nicht den persönlichen Kontakt zwischen Sportler*innen und Trainer*innen bzw. Betreuer*innen ersetzen kann, sondern die subjektiven Eindrücke mit objektiven Informationen ergänzt, um hiermit die Entscheidungsfindung zu unterstützen.

Laut einer Studie von Duignan et al. (2019) hängt die Akzeptanz eines AMS von verschiedenen Faktoren ab. Zum einen sollten Sportler*innen und Trainer*innen einen persönlichen Vorteil aus der Nutzung ziehen können und zum anderen adäquat im Umgang mit dem AMS angeleitet werden. Der Prozess der Datenerfassung und des Feedbacks muss verstanden und im Bedarfsfall durch entsprechende Hilfestellungen optimiert werden. Die Bedienung und Verfügbarkeit auf portablen Geräten (Smartphone, Tablet, Note-

book) ist dafür bereits zum gängigen Standard geworden. Im Rahmen der Datenerfassung spielen Wearables und tragbare Messgeräte zunehmend eine wichtige Rolle. Mit ihnen lassen sich physiologische Parameter (Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität, Sauerstoffaufnahme, Körpertemperatur, usw.), Daten zu / aus Körperflüssigkeiten (Konzentrationen von Inhaltsstoffen im kapillaren Blut, Schweiß, Speichelfluss, Urin, usw.), neuromuskuläre bzw. muskelmetabolische Parameter (EMG, EEG, Stromleitfähigkeit der Haut, NIRS, Zucker- und Fettstoffwechsel, usw.) und kinematische Bewegungsdaten erfassen (Cardinale & Varley, 2017; Düking et al., 2016; Seshadri et al., 2019).

In der Literatur werden konkrete Anforderungen an ein AMS beschrieben, die sich mit den vielfältigen Erfahrungen im REGman-Projekt decken (Roos et al., 2013; Starling & Lambert, 2018). Diese lassen sich den übergeordneten Kategorien „Datenerfassung“, „Datenaufbereitung und -analyse“ sowie „Ergebnisdarstellung und Entscheidungsunterstützung für die Sportpraxis“ zuordnen (Abb. 4.2).

REGmon: Regenerationsmanagement durch Athletenmonitoring

Aufgrund der vielfältigen Anforderungen von Sportpraxis und Wissenschaft wurde mit *REGmon* ein besonders flexibles und einfaches AMS entwickelt, das sich an die Bedürfnisse der verschiedenen Nutzerkreise anpassen lässt. Um den Trainingsalltag optimal unterstützen zu können, verfügt *REGmon* über die Möglichkeit, wissenschaftlich fundierte Analysen durchzuführen und individuelles Feedback zu geben. *REGmon* ist in Gruppen und Untergruppen gegliedert, sodass sowohl einzelne Sportler*innen, als auch Trainingsgruppen, Mannschaften, Vereine oder Verbände die browserbasierte Plattform nutzen können.

Den Startpunkt von *REGmon* bildet ein Dashboard, auf dem Schaltflächen zur Datenerfassung, Datenauswertung, -analyse und Ergebnisdarstellung sowie auf den Kalender für jedes Profil individuell definiert und kombiniert werden können (Abb. 4.3). Die Reihenfolge und Farben können an die Wünsche der Nutzer*innen angepasst werden. Diese Schnellzugriffe ermöglichen den Athletinnen und Athleten sowie Trainerinnen und Trainer u. a. das Training und den aktuellen psychischen Status zu dokumentieren (z. B. Training Load, Kurzskala Erholung und Beanspruchung, Notizen), sich einen schnellen Eindruck über die Ergebnisse und Analysen der letzten Tage zu verschaffen (z. B. Acute:Chronic Workload Ratio (ACWR)) oder sonstige entscheidungsunterstützende Informationen abzurufen. Außerdem bietet ein individueller Kalender (Abb. 4.4) einen zeitlichen Überblick über vergangene, aktuelle und geplante Trainingseinheiten, Termine und weitere Informationen.

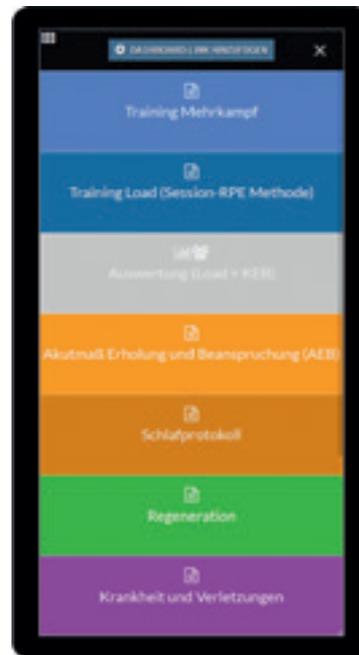


Abb. 4.3: Exemplarisches Dashboard.

REGmon ist durch die folgenden Eigenschaften gekennzeichnet:

- › Bedienbarkeit mit portablen Geräten (Smartphone, Tablet, Notebook, usw.)
- › Nutzerzentriertes Design und browserbasierte Programmierung
- › Reduzierte und intuitive Benutzeroberflächen
- › Implementation wissenschaftlich fundierter Methoden (z. B. aus REGman)
- › Möglichkeit der Offline-Dateneingabe
- › Kostenlose Nutzung für Projektpartner

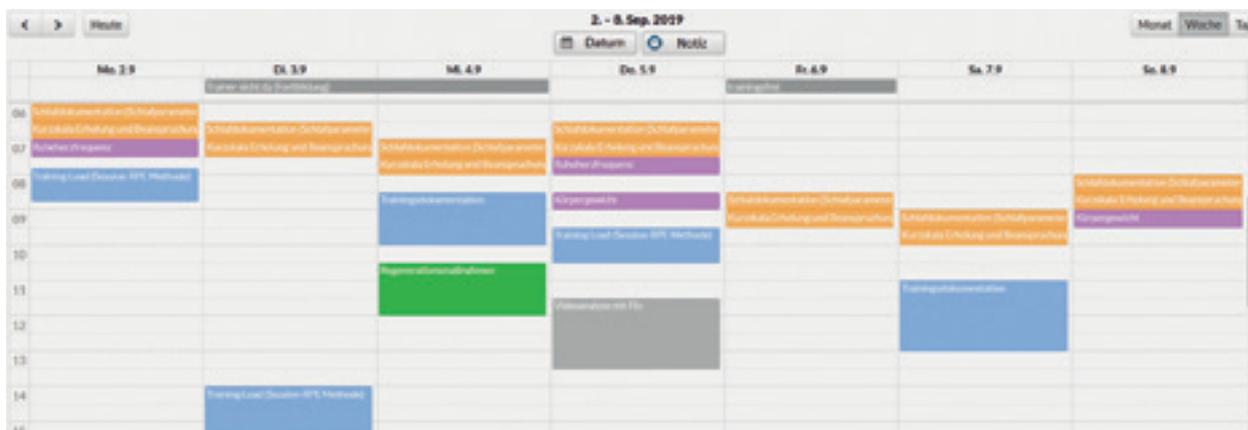
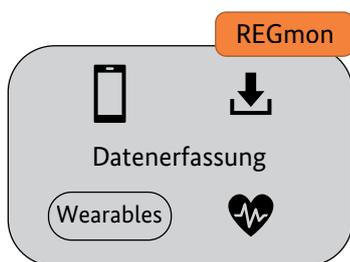


Abb. 4.4: Exemplarische individuelle Kalenderansicht aus REGmon.

Datenerfassung – Welche Daten werden wie gesammelt?

In REGmon werden Daten über sogenannte Formulare erfasst, die sich mittels eines flexiblen Baukastensystems individuell gestalten lassen (Creator-Konzept). Formulare bestehen aus Elementen, die modular und frei kombiniert von den Nutzern zusammengestellt werden können. Die verfügbaren Elemente umfassen u. a. Zahlfelder, Textfelder und Dropdown-Menüs und können frei platziert und mit „drag&drop“ verschoben werden (Abb. 4.5).



Es besteht die Möglichkeit, die vorab für die Datenerfassung erstellten Formulare individuellen Profilen oder Gruppen zuzuordnen. Über das Dashboard oder durch einen Klick an die entsprechende Stelle im Kalender öffnet sich die dem Nutzerprofil zugeordnete, individuelle Formularauswahl (Abb. 4.6, links). Athletinnen und Athleten können individuelle Lese- und Schreibrechte für ihre Formulare vergeben, die Trainerinnen und Trainern oder anderen Betreuungspersonen die Datenansicht bzw. -eingabe ermöglichen. Aggregierte Daten von Wearables, wie zum Beispiel Herzfrequenzdaten von Pulsuhren, werden über vorgefertigte Module eingelesen. Außerdem lassen sich im Kalender Notizen einfügen, speichern und als Zusatzinformationen in Grafiken anzeigen (Abb. 4.7). Je nach sportartspezifischer Belastungs- und Wettkampfstruktur sowie den individuellen Rahmenbedingungen lassen sich mit der REGmon-Datenerfassung sehr unterschiedliche Merkmale auf selbstdefinierten Ebenen erfassen. Diese umfassen zum Beispiel Trainings- und Leistungsdaten, psychometrische Fragebögen und Laborwerte sowie Informationen zu Schlaf, Ernährung und aus Tagebüchern.



Abb. 4.5: Formular-Creator (links) und eine Auswahl verfügbarer Elemente (rechts).

Die Datenerfassung in *REGmon* zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- › Offenes Grundkonzept durch flexible, modular erweiterbare Formulare
- › Individualisierte und kombinierte Datenerfassung (z. B. verschiedene Skalenniveaus)
- › Individuelle Vergabe von Lese- und Schreiberechten
- › Implementierung des Akutmaßes und der Kurzskala Erholung und Beanspruchung (AEB/KEB)

Datenaufbereitung und -analyse – Wie sehen die Daten aus und was sagen sie uns?

*Welche Berechnungen und Datenaggregationen können in *REGmon* durchgeführt werden?*



Grundsätzlich können Daten in *REGmon* sowohl mit gängigen mathematischen Operationen, wie zum Beispiel Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und Potenzrechnung, als auch mit excelbasierten Formeln für statistische Auswertungen (u. a. Mittelwerte und Standardabweichungen) und logische Berechnungen (u. a. Wenn-Funktionen) weiterverarbeitet werden.

The image shows a side-by-side comparison of the REGmon interface. On the left is a vertical menu with categories: Training (blue), Diagnostik (grey), Psychometrie (orange), Physiologie und Leistung (purple), and Regeneration (green). The 'Training' category is expanded, showing 'Training Load (Session-RPE Methode)' and 'Trainingsdokumentation (Mehrkampf)'. A black arrow points from the 'Training Load' option to the right-hand screenshot. The right-hand screenshot is a form titled 'Dokumentation des Training Load (Session-RPE Methode)'. It includes a date and time selector at the top, followed by a question 'Wie lange hast Du trainiert?' with a text input field and a 'Minuten' label. Below that is another question 'Wie anstrengend war die Trainingseinheit?' with a 'Subjektives Belastungsempfinden' scale from 0 to 10. The scale has labels: 0 (Ruhe), 1 (Sehr leicht), 2 (Leicht), 3 (Mittler), 4 (Sehr schwer), 5 (Hart), 6 (Sehr hart), 7 (Wirklich sehr hart), 8, 9, 10 (Maximal, wenn geht, nicht). Below the scale is a question 'Möchtest Du noch etwas hinzufügen (z.B. Art des Trainings?)' and a text input field. At the bottom right of the form is a green 'speichern' button.

Abb. 4.6: Exemplarische nutzerspezifische Formularauswahl (links) und Formular zur Eingabe des Training Load (Session-RPE und Dauer, rechts). Rot gekennzeichnete Felder sind Pflichtfelder, welche vor dem Speichern ausgefüllt werden müssen.

Mit diesen Rechenoperationen können komplexere Analysemethoden, wie zum Beispiel z-Transformationen, exponentielle Gewichtungen und Verhältnisse rollender Mittelwerte (z. B. ACWR, vgl. Abb. 4.8) sowie individuenbezogene Auswertungsalgorithmen umgesetzt werden.

Wie können Daten in REGmon kombiniert verrechnet werden?

Die einfachste Form der Datenkombination stellt die Verknüpfung von Rohdaten formularspezifischer Elemente für jeden einzelnen Formulareintrag dar, unabhängig von der Person oder der Zeit des Dateneintrags. So wird beispielsweise zur Quantifizierung einer Trainingseinheit oftmals die aus Umfang und Intensität kombinierte Maßzahl „Training Load“ nach der Session-RPE Methode (Session Rating Of Perceived Exertion) berechnet. Zur Bestimmung des Training Load wird die Belastungsdauer (external load) mit dem subjektivem Belastungs-

empfinden (internal load), ermittelt anhand der modifizierten zehnstufigen Borg-Skala [0-10], multipliziert (Abb. 4.6, rechts). Formular- und personenspezifische Rohdaten können zudem in eine zeitliche Beziehung zueinander gesetzt werden, indem eine rekursive Berechnung durchgeführt wird. Dies erlaubt beispielsweise den Vergleich aufeinanderfolgender Trainingseinheiten bezüglich ihrer Dauer oder Intensität jeweils anhand eines prozentualen Werts in Bezug auf die vorangegangene Einheit.

Sportler- und/oder formularübergreifende Daten können in REGmon mithilfe von Zeitintervallen kombiniert werden. Zuerst werden dafür der gewünschte Zeitraum sowie die gewünschte Intervalllänge in Minuten, Stunden, Tagen, Wochen, Monaten oder Jahren festgelegt. Danach werden die einzelnen Einträge der ausgewählten Formulare den Intervallen anhand ihres Zeitstempels zugeordnet. Diese zeitliche Synchronisation erlaubt die Datenverarbei-

tung mit den oben genannten Möglichkeiten, sodass beispielsweise die wöchentlich aufsummierte Trainingsbelastung/-beanspruchung im Vergleich von verschiedenen Personen, Mannschaftsteilen oder Trainingsgruppen berechnet und dargestellt werden kann (Abb. 4.7). Ein anderes Anwendungsszenario stellt die bedingte Abfrage von Trainingsinhalten dar. Dafür könnte die Schlafqualität und/oder das morgendliche Befinden, welche unter Berücksichtigung psychometrischer Fragebögen als besonders negativ ermittelt wurden, mit den Trainingsinhalten am Abend des Vortags in Beziehung gesetzt werden. Die Trainerin oder der Trainer identifiziert somit die Trainingsinhalte, die den Sportler besonders belastet haben, und kann kommende Einheiten entsprechend planen. Auswertungsvorlagen ermöglichen eine bequeme Datenverarbeitung, indem die gewünschten Berechnungen, Datenaggregationen und -kombinationen automatisiert auf ein definiertes Zeitfenster angewendet werden.

Wie erfolgt die weitere Datenanalyse in REGmon?

Durch die oben skizzierten flexiblen Berechnungs- und Kombinationsmöglichkeiten können in REGmon diverse Analyseansätze umgesetzt werden, um individuelle, bedeutsame Veränderungen und Auffälligkeiten sichtbar zu machen. Diese umfassen u. a. Effektstärken, Standardabweichungen und -fehler, Konfidenzintervalle, Variationskoeffizienten, sowie das Konzept des "smallest worthwhile change" (SWC). Außerdem erlaubt der modulare Aufbau die Integration projekteigener Analyseverfahren, wie zum Beispiel die Normwertindividualisierung (Hecksteden et al., 2017).

Die Interpretation und Einordnung der Informationen ist unter Berücksichtigung gängiger wissenschaftlicher Standards sowie des jeweiligen Kontexts der Sportart und dessen Rahmenbedingungen vorzunehmen. In Anbetracht der Komplexität ist an dieser Stelle eine sportwissenschaftliche Unterstützung zu empfehlen.

Die Datenaufbereitung und -analyse in *REGmon* zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- › Individualisierte Verarbeitung von Rohdaten (sportlerspezifisch)
- › Sportler- und formularübergreifende Datenverarbeitung durch Zeitintervalle
- › Vorlagenbasierte Datenverarbeitung
- › Integration wissenschaftlicher Methoden zur Bewertung bedeutsamer Veränderungen

Ergebnisdarstellung und Entscheidungsunterstützung für die Sportpraxis – Wie und wann wird trainiert und regeneriert?

Wie können Daten in REGmon dargestellt werden?



Die Formulareinträge jeder Sportlerin und jedes Sportlers werden im Kalender dargestellt. Die Rohdaten und berechneten bzw. aggregierten Daten können entweder händisch oder durch Vorlagen grafisch und in Form von Tabellen abgerufen werden. Das Grafikmodul ermöglicht die Darstellung mithilfe aller gängigen Säulen- und Liniendiagramme, wobei Farben, Achsen und weitere Details individuell zugewiesen werden können (Abb. 4.7 und 4.8). Der dargestellte Zeitraum kann jederzeit verkleinert, verschoben oder erweitert werden. Trainer*innen sehen die Daten von Sportler*innen, die ihnen eine entsprechende Lese- oder Schreiberlaubnis gegeben haben. In Abhängigkeit der Rechtvergabe ermög-

licht *REGmon* sowohl eine individuelle und formularspezifische (ein Sportler, einzelnes Formular), eine individuelle und formularübergreifende (ein Sportler, mehrere Formulare), eine personenübergreifende und formularspezifische (mehrere Sportler, ein Formular) als auch eine personen- und formularübergreifende (mehrere Personen, mehrere Formulare) Ergebnisdarstellung.

Die Ergebnisdarstellung in *REGmon* zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Vorlagenbasierte Datenvisualisierung
- Kombinierte Darstellung von Rohdaten und aggregierten Daten
- Direktes und schnelles Feedback durch individuelle Dashboard-Übersicht

Es wurden bereits unterstützende Entscheidungsbäume publiziert, die zum Beispiel in Bezug auf die Trainingsbereitschaft und die Er-

holungs- und Ermüdungszustände praktische Handlungsempfehlungen generieren (Gabbett et al., 2017; Schneider et al., 2018, vgl. auch Kapitel 3). Die Entscheidungsunterstützung erfolgt in *REGmon* nicht vollautomatisch, da diese ein flankierendes Beratungssystem erfordert. In Absprache mit dem Projektteam können sowohl individuelle Benachrichtigungsgrenzen als auch andere Rückmeldemethoden in *REGmon* integriert werden. Im Optimalfall erhält die Sportpraxis eine Entscheidungsunterstützung bezüglich der weiteren Trainingssteuerung, sodass Sportler*innen, Trainer*innen und betreuendes Personal vor dem Hintergrund der jeweiligen Zielstellung evidenzbasiert Entscheidungen treffen können. Dabei nimmt die Wissenschaft die Rolle eines „Zuarbeiters“ und „Beraters“ ein, wohingegen die Sportpraxis die bereitgestellten Informationen vor dem Hintergrund der Trainingsziele einordnen und entsprechende Maßnahmen in den Trainings- und Wettkampfalltag integrieren muss.

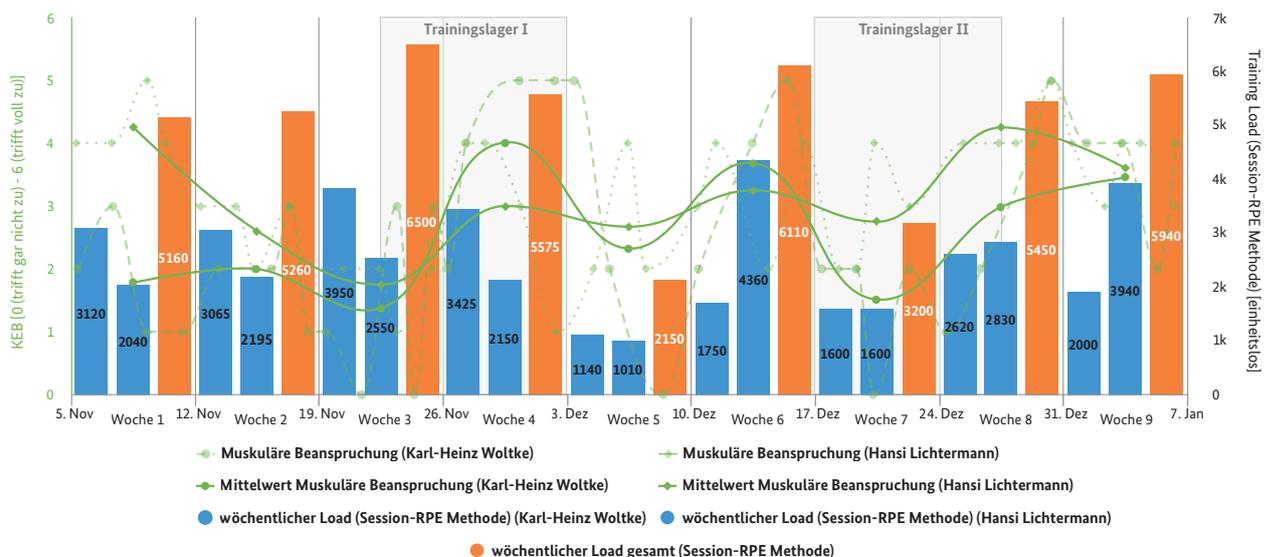


Abb. 4.7: Exemplarische Darstellung von fiktiven, sportlerspezifischen und wöchentlich gemittelten Werten der Dimension „Muskuläre Beanspruchung“ aus der KEB (Linien hellgrün gestrichelt, gepunktet und Linie grün), individuell und sportlerübergreifend wöchentlich aggregiertem Training Load (Säulen blau und orange) sowie Notizen (grau hinterlegt).

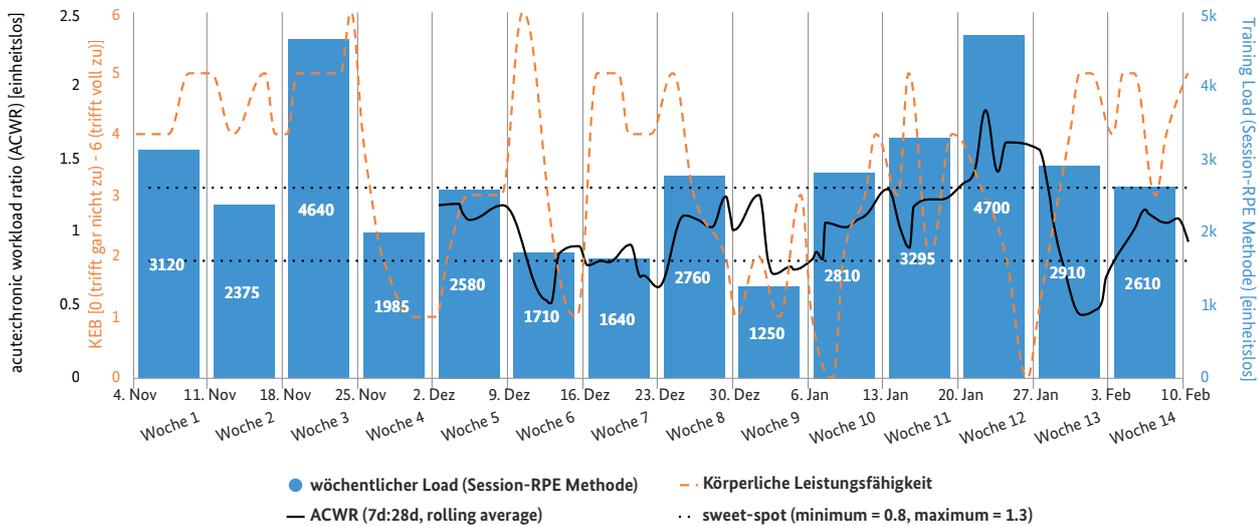


Abb. 4.8: Exemplarische Darstellung der Daten von einem Sportler mit wöchentlich aggregiertem Load (Säulen blau), der ACWR (Acute:Chronic Workload-Ratio, Linie schwarz) inklusive Markierung der Unter- und Obergrenze des „sweet-spots“ (Linien schwarz gepunktet) sowie der Dimension „Körperliche Leistungsfähigkeit“ aus der KEB (Linie orange gestrichelt).

Ausblick – Wo geht die Reise hin?

REGmon wird stetig mit Rücksicht auf die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Bedürfnisse der Praxis weiterentwickelt. Dabei stehen die folgenden Aspekte im Vordergrund:

- › Erinnerungsfunktionalität (E-Mail, Messenger, usw.)
- › Weiterführende Integration ausgewählter Wearables und Messgeräte
- › Soll-/Ist-Wert Vergleiche
- › Schnellzugriff durch standardisierte Trainingseinheiten
- › Weitere Überführung und Integration projektspezifischer Analysemethoden

Alternative AMS – Was machen die anderen?

Es existiert ein breites Angebot unterschiedlicher, meist kommerziell vertriebener AMS. Der stark wachsende Markt hat sich in den letzten Jahren aufgrund der Bedarfe in der Sportpraxis enorm ausdifferenziert und zeigt nicht zuletzt aufgrund der Schnellebigkeit von Soft- und Hardware im Allgemeinen eine große Dynamik. Das Spektrum reicht von einfachen Kommunikations- und Coachingplattformen im Mannschafts- oder Individualsport bis hin zu Ansätzen, die das automatische Einlesen und Analysieren von Positionierungsdaten mithilfe von Methoden aus den Bereichen des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz umfassen. Manche AMS werden als vielseitige Organisationsplattformen genutzt und erfassen dabei von der Reisekostenabrechnung bis hin zur Videoanalyse jeden Schritt eines Sportlers, einer Mannschaft oder eines gesamten Vereins. Demgegenüber sind andere AMS hoch spezia-

lisiert und teilweise stark reduziert im Hinblick auf die Bedürfnisse einer bestimmten Sportart, eines einzelnen Athleten und eines ganz bestimmten, reduzierten Sets an Parametern und dessen Auswertung. Dabei sind viele AMS zweckmäßig, um vielfältige Daten zentral zu sammeln, und erfüllen viele der Anforderungen sowohl in Bezug auf eine zeitgemäße Darstellung durch eine moderne und intuitive grafische Oberfläche als auch eine komfortable Nutzung. Populäre Vertreter im Bereich Athletenmonitoring sind „AthleteMonitoring“, „Smartabase“, „Sportlyzer“, „DokuMe“ sowie das erst kürzlich veröffentlichte „Prevention Management Tool“ der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG).

Dennoch wird kaum ein AMS in Gänze den Ansprüchen sowohl in Bezug auf eine wissenschaftliche Fundierung der genutzten Methoden und Analysen als auch der notwendigen Flexibilität gerecht. Ferner sind viele Lösungen auf Handlungsempfehlungen und Informationen für das individuelle Training im Breiten- und Freizeitsport ausgerichtet, so dass für den Einsatz im

Leistungssport oftmals die Trennschärfe und wissenschaftliche Evidenz fehlt. Sowohl die bereitgestellten Informationen als auch die Handlungsempfehlungen sind dann häufig zu allgemein oder vor dem Hintergrund des jeweiligen Trainingsziels, der empirischen Befundlage sowie der langjährigen Praxiserfahrung schlichtweg fehlerhaft. Dabei werden entscheidungsunterstützende Ansätze nicht selten unreflektiert implementiert, wohingegen die evidenzbasierte Einordnung der Ergebnisse, die Integration wissenschaftlich fundierter innovativer Methoden und die sportler- und skalenübergreifenden Analysen wenig Beachtung finden. Zudem werden die z. T. funktionell sehr umfangreichen AMS kommerziell vertrieben und sind für viele Verbände, Vereine und Individualsportler selten eine Option. Gleichzeitig erfordern diese Angebote eine zeitintensive und inhaltlich anspruchsvolle Auseinandersetzung mit den technischen Aspekten der Software und eine regelmäßige Wartung. Dies ist nicht zuletzt aufgrund der oftmals überladenen Funktionalitäten für einen Großteil der potenziellen Nutzer kaum möglich.

Literatur

- Cardinale, M. & Varley, M. C. (2017). Wearable training-monitoring technology: Applications, challenges, and opportunities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S255-S262.
- Duignan, C. M., Slevin, P. J., Caulfield, B. M. & Blake, C. (2019). Mobile athlete self-report measures and the complexities of implementation. *Journal of Sports Science and Medicine*, 18, 405-412.
- Düking, P., Hotho, A., Holmberg, H.-C., Fuss, F. K. & Sperlich, B. (2016). Comparison of non-invasive individual monitoring of the training and health of athletes with commercially available wearable technologies. *Frontiers in Physiology*, 7, 71. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00071>
- Gabbett, T. J., Nassis, G. P., Oetter, E., Pretorius, J., Johnston, N., Medina, D., ... & Ryan, A. (2017). The athlete monitoring cycle: A practical guide to interpreting and applying training monitoring data. *British Journal of Sports Medicine*, 51(20), 1451-1452.

- Hecksteden, A., Pitsch, W., Julian, R., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A. & Meyer, T. (2017). A new method to individualize monitoring of muscle recovery in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1137-1142.
- Robertson, S., Bartlett, J. D. & Gastin, P. B. (2017). Red, amber, or green? Athlete monitoring in team sport: The need for decision-support systems. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S273-S279.
- Roos, L., Taube, W., Brandt, M., Heyer, L. & Wyss, T. (2013). Monitoring of daily training load and training load responses in endurance sports: What do coaches want? *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 61(4), 30-36.
- Schneider, C., Hanakam, F., Wiewelhove, T., Döweling, A., Kellmann, M., Meyer, T., ... Ferrauti, A. (2018). Heart rate monitoring in team sports - A conceptual framework for contextualizing heart rate measures for training and recovery prescription. *Frontiers in Physiology*, 9, 639. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00639>
- Schwellnus, M., Soligard, T., Alonso, J.-M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., ... Hutchinson, M. R. (2016). How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 1043-1052.
- Seshadri, D. R., Li, R. T., Voos, J. E., Rowbottom, J. R., Alfes, C. M., Zorman, C. A. & Drummond, C. K. (2019). Wearable sensors for monitoring the physiological and biochemical profile of the athlete. *NPJ Digital Medicine*, 2, 72.
- Soligard, T., Schwellnus, M., Alonso, J.-M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., ... Hutchinson, M. R. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 1030-1041.
- Starling, L. T. & Lambert, M. I. (2018). Monitoring rugby players for fitness and fatigue: What do coaches want? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(6), 777-782.
- Thornton, H. R., Delaney, J. A., Duthie, G. M. & Dascombe, B. J. (2019). Developing athlete monitoring systems in team sports: Data analysis and visualization. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(6), 698-705.

5 Psychologische Aspekte der Regeneration

5



5.1 AEB und KEB – die psychometrische Basis des Monitorings

Sarah Kölling & Michael Kellmann

5.1



Das Akutmaß (AEB) und die Kurzskala (KEB) zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung

Die Entwicklung und Validierung eines psychometrischen Maßes war ein wesentlicher Bestandteil der ersten Phase des REGman-Projektes (Laufzeit 2012-16). Zielstellung war es damit den aktuellen (akuten) Erholungs- und Beanspruchungs-Zustand auf effiziente Art erfassbar zu machen und kurzfristige sowie langfristige Veränderungen im Zeitverlauf darstellen zu können. Das Akutmaß Erholung und Beanspruchung (AEB) sowie die Kurzskala Erholung und Beanspruchung (KEB) stehen seitdem als Inventar zum Trainingsmonitoring zur Verfügung. Eine detaillierte Beschreibung der Entwicklung ist im Manual von 2016 dokumentiert (Kellmann, Kölling & Hitzschke, 2016). Im vorliegenden Kapitel sollen die wichtigsten Aspekte zusammengefasst und ein kurzer Überblick über deren Einsatzmöglichkeiten gegeben werden.

Die wichtige Rolle von Selbstberichtsverfahren, die subjektiven Empfindungen im Trainingsprozess zu erfassen, ist mittlerweile gut dokumentiert (Meeusen & De Pauw, 2018; Saw, Main & Gastin, 2015). Sowohl in den REGman-Studien (vgl. Meyer, Ferrauti, Kellmann & Pfeiffer, 2016) als auch in internationalen Untersuchungen (u.a. Saw, Main & Gastin, 2016) haben sich psychometrische Marker als valide und teilweise geeigneter als physiologische Parameter für das Trainingsmonitoring herausgestellt. Es ist zudem ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass nur solche Skalen bzw. Fragebögen verwendet werden sollten, die auch tatsächlich wissenschaftlich validiert sind und die die wesentlichen Standards psychometrischer Gütekriterien erfüllen (Saw, Kellmann, Main & Gastin, 2017). Die Verwendung selbstkonstruierter Tools ist

daher äußerst kritisch zu betrachten, auch wenn diese augenscheinlich zweckdienlich(er) scheinen mögen und an die eigenen Bedingungen angepasst werden können. Das AEB und die KEB zeichnen sich dadurch aus, dass sie sowohl für sportwissenschaftliche Forschung als auch für die Sportpraxis valide und reliable Instrumente darstellen, was durch einen sorgfältigen Entwicklungsprozess und dessen Dokumentation sichergestellt wurde. Neben der Berücksichtigung der Praxisrelevanz folgte dieser Prozess theoriegeleiteten Überlegungen, die in der Konstruktionsphase eine ausgiebige Vorbereitung und Exploration zur Modellbildung beinhalteten. In mehreren Datenerhebungen und Labor- sowie Feldstudien hat sich deren Eignung bewährt.

AEB und KEB im Überblick

Das AEB stellt das erste Ergebnis des umfangreichen Entwicklungsprozesses dar. 32 Adjektive beschreiben die Bereiche Erholung und Beanspruchung auf mehreren Ebenen, die zu jeweils vier Skalen zusammengefasst werden: *Körperliche Leistungsfähigkeit, Mentale Leistungsfähigkeit, Emotionale Ausgeglichenheit, Allgemeiner Erholungszustand, Muskuläre Beanspruchung, Aktivierungsmangel, Emotionale Unausgeglichenheit, Allgemeiner Beanspruchungszustand*. Anstatt den Fragebogen durch das Weglassen einzelner Items zu verkürzen, wurde eine Kurzskala anhand dieser acht AEB-Skalen konstruiert. Der Unterschied in den Itemformaten wird beim Vergleich von Abbildung 5.1.1 (AEB) und Abbildung 5.1.2 (KEB) deutlich. Beide Verfahren unterscheiden sich nicht im Hinblick auf die zugrundeliegenden Konstrukte, wobei diese durch die KEB auf eine globalere Weise erfasst werden. Durch das AEB ist eine differenziertere Darstellung der einzelnen Facetten möglich. Einen Überblick sowie eine Gegenüberstellung gibt Tabelle 5.1.1.

| Im Augenblick fühle ich mich... | trifft gar nicht zu | | | | | | trifft voll zu |
|---------------------------------|---------------------|---|---|---|---|---|----------------|
| 1 erholt | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 muskulär überanstrengt | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 3 zufrieden | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

Abb. 5.1.1: Beispielimens des AEB.

Allgemeiner Erholungszustand

z.B.
 erholt,
 ausgeruht,
 muskulär locker,
 körperlich entspannt

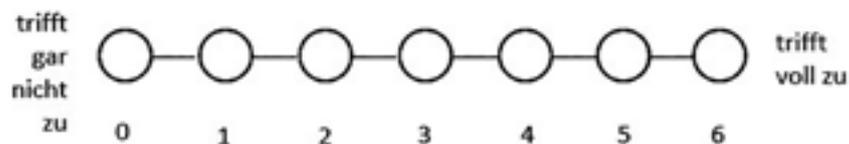


Abb. 5.1.2: Beispielimens der KEB.

Tab. 5.1.1: Übersicht über das Akutmaß (AEB) und die Kurzskala (KEB).

| | AEB | KEB |
|-------------------------|--|--|
| Darstellung & Anwendung | 32 Items werden zu 8 Skalen (mit je 4 Items) per Mittelwert zusammengefasst | Insgesamt 8 Items (4 Items je Kurzskala) werden einzeln erfasst und dargestellt; keine Aggregation der Rohwerte zu Skalen, daher Einsatz einzelner Items möglich |
| Durchführungsdauer | 4-5 Min. | 40-60 Sec. |
| Altersbeschränkung | ab ca. 15 Jahren, Anwendung ab 10 Jahren mit Einschränkungen möglich | |
| Gütekriterien | Zahlreiche Studien belegen die Konstruktvalidität, interne Konsistenz, Reliabilität und Veränderungssensitivität | |
| Einsatzmöglichkeiten | (mehrmals) täglich wöchentlich Langzeitmonitoring Trainingslager Wettkampfvorbereitung Trainingszyklen Individualdiagnostik Gruppendiagnostik | mehrmals täglich wöchentlich Langzeitmonitoring Trainingslager Wettkampfvorbereitung Trainingszyklen Individualdiagnostik Gruppendiagnostik |
| Hauptvorteil | ökonomische & gleichzeitig differenzierte, valide Erfassung | noch engmaschigerer Einsatz mehrmals täglich möglich |
| Hauptnachteil | begrenzt mehrmals einsetzbar, ggf. Schwierigkeit beim Beantworten mehrdeutiger Adjektive (v.a. bei Kindern zwischen 10 und 13 Jahren) | reduzierter Informationsgehalt verglichen mit AEB durch kompakte Itemstruktur |

Für die Interpretation der einzelnen Dimensionen ist grundsätzlich zu bedenken, dass die ermittelten Werte in Bezug auf die individuellen Ausprägungen einer Person und deren Verlauf unter Berücksichtigung des jeweiligen Kontextes zu betrachten sind. Die Werte sind weder als „gut“ noch als „schlecht“ zu interpretieren. Vielmehr sollen sie die Aufmerksamkeit auf Auffälligkeiten und Abweichungen von zu erwartenden Verläufen lenken. Sie können Hinweise auf mögliche dysfunktionale Entwicklungen und angebrachte Interventionen geben. Im Manual werden die folgenden Hinweise gegeben, die sowohl für die AEB-Skalen als auch die KEB-Items gelten (vgl. Kellmann et al., 2016, S. 37-38, 53):

Körperliche Leistungsfähigkeit: Sportlerinnen und Sportler mit einer hohen Ausprägung fühlen sich kraftvoll, leistungsfähig, energiegeladener und voller Power. Diese AEB-Skala (bzw. KEB-Item) beschreibt in Trainingsmonitorings Erholungsveränderungen sehr sensitiv und kann die Veränderung durch den Einsatz von Regenerationsstrategien gut abbilden.

Mentale Leistungsfähigkeit: Bei einer hohen Ausprägung können sich die Sportlerinnen und Sportler gut konzentrieren, sind aufmerksam und aufnahmefähig und fühlen sich mental hellwach. Zu berücksichtigen ist besonders der Kontext oder der Zeitpunkt. Beispielsweise sind höhere Ausprägungen idealerweise morgens zu beobachten, während die Werte am Abend erwartungsgemäß reduziert sein können.

Emotionale Ausgeglichenheit: Sportlerinnen und Sportler mit einer hohen Ausprägung geben an, zufrieden und gut gelaunt zu sein, sich ausgeglichen zu fühlen und alles im Griff zu haben. Erholungsverläufe können sich bei ähnlichen Belastungs- und Erholungsreizen in dieser AEB-Skala (bzw. KEB-Item) stark interindividuell unterscheiden.

Allgemeiner Erholungszustand: Diese AEB-Skala (bzw. KEB-Item) beschreibt Veränderungen insofern, dass sich Sportlerinnen und Sportler bei einer hohen Ausprägung sowohl körperlich als auch psychisch erholt und ausgeruht fühlen. Sie sind zudem muskulär locker und körperlich entspannt. Hiermit lassen sich reaktiv und schnell Reaktionen auf Erholungs- und Belastungsreize aufzeigen. Mit dieser globaleren Erholungsdimension können zudem Auffälligkeiten in Bezug auf sport- und trainingsunabhängige Einflussfaktoren aufgedeckt werden.

Muskuläre Beanspruchung: Eine hohe Ausprägung deutet darauf hin, dass sich Sportlerinnen und Sportler muskulär überanstrengt, ermüdet, verhärtet und übersäuert fühlen. Es lassen sich sehr sensitiv vorangegangene Belastungen, aber auch Belastungsreduktionen beziehungsweise Erholungseffekte abbilden.

Aktivierungsmangel: Bei einem hohen Wert fühlen sich Athletinnen und Athleten unmotiviert und lustlos, sind unkonzentriert und spüren insgesamt wenig Energie. Diese AEB-Skala (bzw. KEB-Item) bildet eher eine Reaktion auf länger einwirkende Belastungsfaktoren ab und reagiert sowohl im Anstieg als auch der Reduktion langsamer als *Muskuläre Beanspruchung* und *Allgemeiner Beanspruchungszustand*.

Emotionale Unausgeglichenheit: Hohe Werte weisen darauf hin, dass sich Sportlerinnen und Sportler von den aktuellen Anforderungen emotional gestresst fühlen, sie sind bedrückt, ‚genervt‘ und leicht reizbar. Abhängig von der persönlichen Situation können identische Belastungsverläufe jedoch zu individuell unterschiedlichem Beanspruchungserleben im emotionalen Bereich führen.

Allgemeiner Beanspruchungszustand: Bei einer hohen Ausprägung fühlen sich Athletinnen und Athleten sowohl körperlich als auch psychisch ‚geschafft‘ und überlastet und nehmen sich als entkräftet und körperlich ‚platt‘ wahr. Belas-

tungsveränderungen können sensitiv und belastungsreaktiv angezeigt werden. Analog zum *Allgemeinen Erholungszustand* handelt es sich um eine globalere Dimension der Beanspruchung.

Anwendungsbeispiele

Die folgenden zwei Studien geben einen Einblick in die Anwendungsmöglichkeiten der beiden Fragebögen.

In einer Längsschnittstudie über 17 Wochen kam das AEB im Schwimmen auf nationalem Wettkampfniveau zum Einsatz (Collette, Kellmann, Ferrauti, Meyer & Pfeiffer, 2018). Die morgendlichen Werte wurden für fünf Schwimmerinnen mittels Zeitreihenanalyse untersucht und mit der Trainingsbelastung in Beziehung gesetzt. Die Relevanz eines individualisierten Monitorings wird hierbei durch die enormen interindividuellen Unterschiede unterstrichen, die sich sowohl im Ausmaß als auch in der Richtung der Response im Zeitverlauf zeigten. Ein hoher Trainingsreiz führte demnach bei einigen Athletinnen zu reduzierten Erholungs- und erhöhten Beanspruchungswerten, während sich bei anderen ein umgekehrtes Muster erkennen ließ. Allerdings ergab sich dieses eher unerwartete Muster nur bei den Skalen *Mentale Leistungsfähigkeit*, *Aktivierungsmangel* und *Emotionale Ausgeglichenheit* sowie *Emotionale Unausgeglichenheit*. Dies unterstreicht die Komplexität des Erholungs-Beanspruchungs-Zustandes. Insgesamt haben sich die Skalen *Körperliche Leistungsfähigkeit*, *Allgemeiner Erholungszustand*, *Muskuläre Beanspruchung* und *Allgemeiner Beanspruchungszustand* als besonders sensitiv in Bezug auf den Trainingsload herausgestellt.

In manchen Settings steht der Nutzen eines engmaschigen Monitorings mit einer täglichen Erhebung dem erhöhten Aufwand gegenüber. Dass auch weniger Messzeitpunkte brauchbare Informationen liefern können, zeigt die Studie

aus der U19-Fußball-Bundesliga (Pelka, Schneider & Kellmann, 2018). Hier wurde während der Rückrunde die KEB an zwei Tagen der Woche jeweils morgens von den Spielern einer Mannschaft ($N = 25$) ausgefüllt, um die Erholungs-Beanspruchungs-Verläufe nach einer Trainingswoche (Erhebung freitags) und nach den Spieltagen (Erhebung montags) zu erfassen. Dies erfolgte unter besonderer Betrachtung der Spielzeit, sodass die Profile der Auswechselspieler mit den Spielern > 60 Minuten Spielzeit verglichen wurden. Die Spieltage wirkten sich demnach unterschiedlich auf die Spieler aus. Diejenigen mit regulärer Spielzeit wiesen geringere Erholungswerte für *Körperliche Leistungsfähigkeit*, *Mentale Leistungsfähigkeit* und *Allgemeiner Erholungszustand* und erhöhte Beanspruchungswerte für *Muskuläre Beanspruchung*, *Aktivierungsmangel* und *Allgemeiner Beanspruchungszustand* auf. Die Auswechselspieler hingegen hatten verringerte Werte für *Mentale Leistungsfähigkeit* und *Emotionale Ausgeglichenheit* und erhöhte Werte bei *Aktivierungsmangel* und *Emotionale Unausgeglichenheit*. An dieser Stelle weisen wir nochmals ausdrücklich darauf hin, dass die Fragebögen nicht für Aufstellungsentscheidungen o.Ä. herangezogen werden sollen (siehe auch „Praxis- & Handlungsempfehlungen“). Diese Studie unterstreicht aber, dass die Einsatzzeit einen Einfluss auf den Erholungs-Beanspruchungs-Zustand haben kann, was es bei der Nachbereitung bzw. dem nachfolgenden Training zu berücksichtigen gilt. Hervorzuheben ist ferner, dass nicht nur die „körperlichen“ Facetten betrachtet werden sollten.

Modifikation für Kinder und Jugendliche

Bereits im Nachwuchsleistungssport sind die Trainingsanforderungen hoch. Der frühe Beginn mit spezialisiertem, hochintensivem Training und der Leistungs- bzw. Erfolgsdruck werden jedoch auch kritisch in Bezug auf Überlastungserscheinungen und Verletzungen gesehen (DiFiori

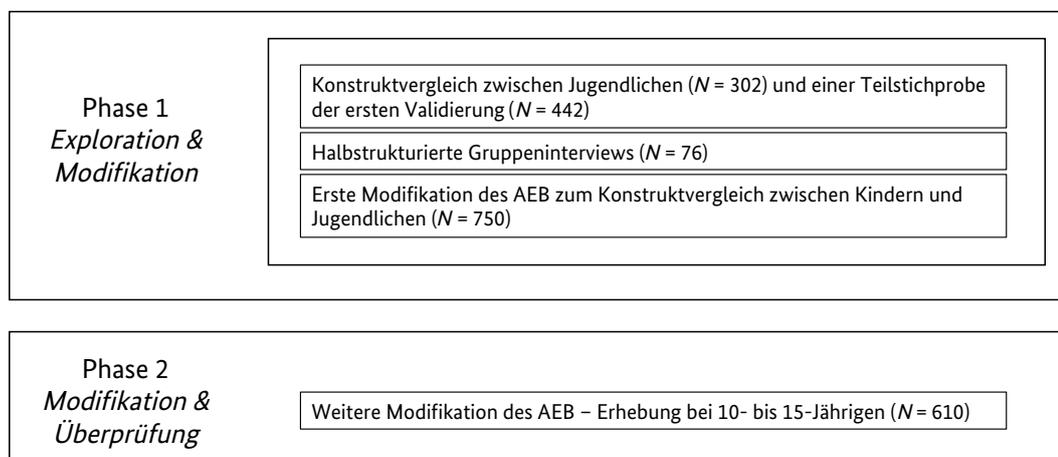


Abb. 5.1.3: Exemplarische Darstellung der Modifizierungsphasen des AEB.

et al., 2014). Internationale Studien belegen, dass Überlastungen und Übertrainingserscheinungen bereits bei Jugendlichen auftreten können (Matos, Winsley & Williams, 2011; Raglin, Sawamura, Alexiou, Hassmén & Kenttä, 2000). Eine effektive Trainingssteuerung, die durch Trainingsmonitoring begleitet wird, ist daher nicht nur für Erwachsene im Spitzensport von Bedeutung. Bei Jugendlichen verschärft sich die Thematik zusätzlich, indem das Belastungsempfinden der Aktiven von einer Trainingseinheit von dem beabsichtigten Trainingsload unter Umständen abweichen kann und dies das Risiko einer Überbeanspruchung erhöht (Brink, Frencken, Jordet & Lemmink, 2014; Scantlebury, Till, Sawczuk, Weakly & Jones, 2018).

Allerdings sind AEB und KEB erst für Jugendliche ab 15 Jahren validiert, sodass zu deren Anwendung bei jüngeren Athletinnen und Athleten bisher keine Empfehlungen ausgesprochen werden konnten. Innerhalb des REGman-Projektes war es daher ein Ziel, die Verständlichkeit der Konstrukte bei Kindern und Jugendlichen zu erfassen und entsprechend anzupassen. Dies erfolgte in zwei Phasen (siehe Abb. 5.1.3).

Die Exploration (Phase 1) diente der Ermittlung von Verständnisschwierigkeiten bei der Beantwortung des AEB. Der Fragebogen wurde zunächst so modifiziert, dass neben der originalen Antwortskala die Option „verstehe ich nicht“ angekreuzt werden konnte. Fehlende Antworten können so eindeutiger interpretiert werden. Mit dieser Version wurden Befragungen mit anschließenden Gruppeninterviews in Sportklassen der 5., 6., und 7. Klasse durchgeführt. Auf statistischer Ebene wurde außerdem ein Vergleich mit Erwachsenen (Teilstichprobe aus der finalen Validierungsstudie) vorgenommen. Aufbauend auf ersten Rückmeldungen wurden an schwer verständlichen Adjektiven ergänzende Beschreibungen hinzugefügt. Eine erste modifizierte Version wurde dann bei 750 Kindern und Jugendlichen getestet. Nach umfassender Analyse wurden schließlich weitere Adjektive identifiziert und mit Ergänzungen versehen bzw. teilweise bestehende Beschreibungen verändert. Diese Version wurde in Phase 2 ebenfalls umfassend bei 10- bis 15-Jährigen untersucht ($N = 610$). Im Folgenden werden einige Auszüge der Ergebnisse dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der explorativen Phase kann Kölling, Ferrauti, Meyer, Pfeiffer und Kellmann (2019) entnommen werden. Die ausführliche Dokumentation

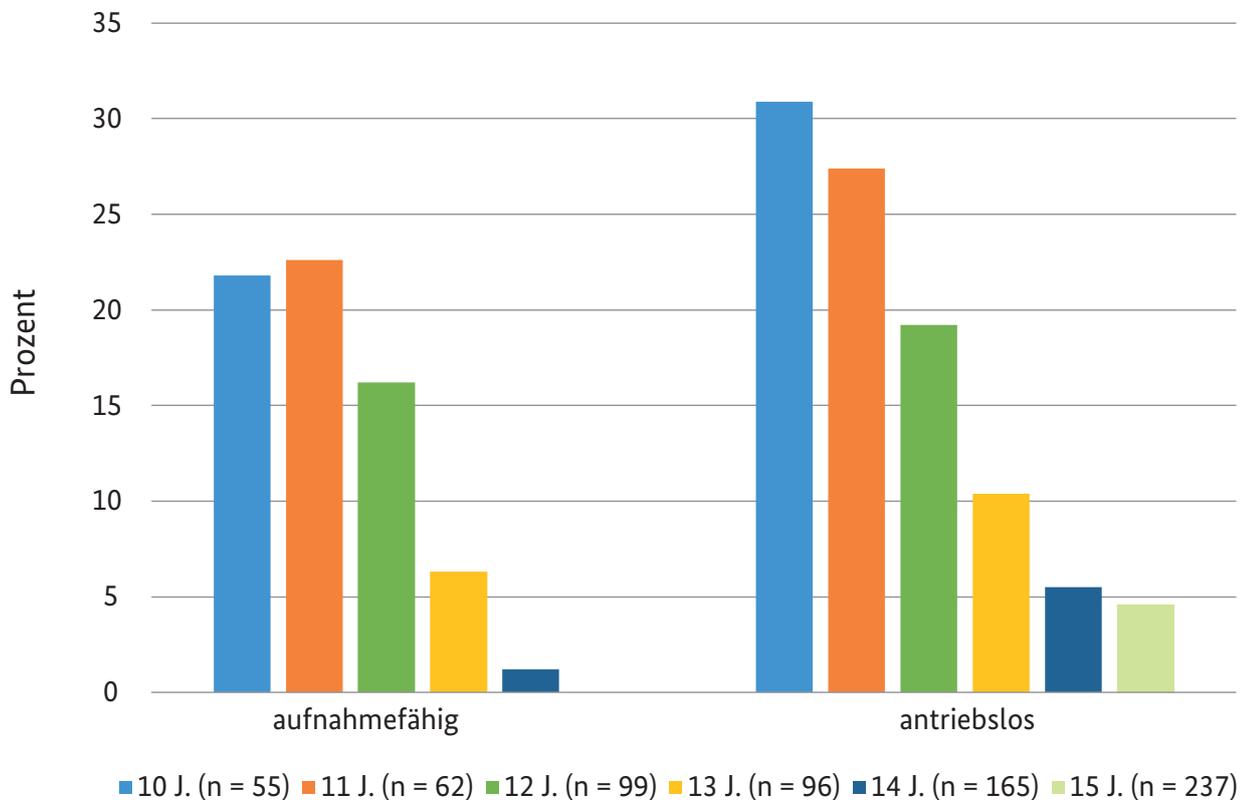


Abb. 5.1.4: Exemplarische Darstellung von „verstehe ich nicht“-Antworten für zwei Items getrennt nach Alter.

sowie die finale Version werden in der Neuaufgabe des Manuals zum AEB und KEB zur Verfügung stehen (voraussichtlich 2020).

Phase 1

Abbildung 5.1.4 zeigt exemplarisch für zwei Items die Verteilungen der „verstehe ich nicht“-Antworten getrennt nach den Altersgruppen. Auffällig ist, dass die 10- und 11-Jährigen die häufigsten Antworten gegeben haben. In den Gruppeninterviews stellte sich heraus, dass die Kinder und Jugendlichen die Adjektive auf einer eher abstrakten Ebene beschreiben und sie sich insbesondere mit mehrdeutigen Adjektiven schwertun. Beispielsweise hat das Item „geschafft“ sowohl eine negative (i.S.v. „kaputt“) als auch eine positive Bedeutung (i.S.v. „ich hab’s geschafft“).

Ein Gruppenvergleich mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse zwischen Erwachsenen und Jugendlichen (14-16 Jahre) zeigte, dass das AEB das inhaltlich gleiche Konstrukt erfasst (Kölling et al., 2019). Zwischen Kindern (10-13 Jahre) und Jugendlichen (14-16 Jahre) scheint es ebenfalls keine Unterschiede in der Erfassung des Konstruktes zu geben, allerdings zeigten die Kennwerte der Modelle bei den Kindern sowohl für den Bereich Erholung als auch Beanspruchung eine schlechtere Passung an. Auch bei den Analysen der sog. inneren Konsistenz ergaben sich durchgängig geringere Werte bei den Kindern und Jugendlichen. Besonders deutlich wurde dies bei *Emotionale Ausgeglichenheit* (Cronbachs $\alpha = .50$ [10-13 J.] und $.59$ [14-16 J.] vs. $.76$ [Erwachsene]).

Die KEB hingegen zeigte in den psychometrischen Analysen kaum Auffälligkeiten.

Tab. 5.1.2: Vorläufige Analyse der internen Konsistenz (Cronbachs α) für Phase 2 (Stand Oktober 2019).

| | 10- & 11-Jährige (n = 112) | 12- & 13-Jährige (n = 245) | 14- & 15-Jährige (n = 210) |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Körperliche Leistungsfähigkeit | .87 | .88 | .86 |
| Mentale Leistungsfähigkeit | .71 | .80 | .72 |
| Emotionale Ausgeglichenheit | .60 | .70 | .60 |
| Allgemeiner Erholungszustand | .64 | .61 | .80 |
| Muskuläre Beanspruchung | .70 | .80 | .85 |
| Aktivierungsmangel | .62 | .85 | .77 |
| Emotionale Unausgeglichenheit | .65 | .75 | .63 |
| Allgemeiner Beanspruchungszustand | .77 | .82 | .87 |

Phase 2

Elf Adjektive wurden mit zusätzlichen Beschreibungen modifiziert und an 610 Sportlerinnen und Sportlern zwischen 10 und 15 Jahren getestet. Tabelle 5.1.2 zeigt vorläufige Analysen der internen Konsistenz der AEB-Skalen getrennt für die Altersgruppen der 10- und 11-Jährigen ($n = 112$), 12- und 13-Jährigen ($n = 245$) sowie der 14- und 15-Jährigen ($n = 210$).

Es lässt sich erkennen, dass die Werte mindestens über .6 liegen, wobei Werte ab .7 als *akzeptabel* und ab .8 als *gut* betrachtet werden. In keiner der drei Altersgruppen ist dabei ein konsistentes Muster zu identifizieren. Innerhalb der Gruppen schwanken die Werte zwischen .6 und .8 und keine Gruppe zeigt durchgängig höhere Werte als die beiden anderen Altersgruppen. Auffällig ist dennoch, dass in der jüngsten Gruppe nur *Körperliche Leistungsfähigkeit* einen Wert über .8 erzielt. *Emotionale Ausgeglichenheit* und *Emotionale Unausgeglichenheit* weisen zudem in keiner Gruppe *gute* Werte auf, die eine zuverlässige Interpretation erlauben.

Fazit

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Verwendung des AEB bei Kindern unter 12 Jahren nicht empfohlen werden kann und zwischen 12 und 14 Jahren nur nach sorgfältiger Überlegung und Überprüfung erfolgen sollte. Zum einen kommt es bei einigen Adjektiven zu Verständnis- bzw. Interpretationsschwierigkeiten, da sie ohne Kontextbezug mehrere Bedeutungen haben können. Zum anderen ist zu bedenken, welche Dimensionen inhaltlich im Rahmen des Monitorings von Relevanz sein sollen und bei welchen auf die Auswertung bzw. Interpretation verzichtet werden kann. Aufgrund der enormen entwicklungspsychologischen Variabilität zwischen den Heranwachsenden ist mit Einschränkungen bei der zuverlässigen bzw. glaubwürdigen Beantwortung des Fragebogens sowie bei der Reflexionsfähigkeit in diesem Altersbereich zu rechnen. Insbesondere ist dies bei den psychometrischen Eigenschaften der mentalen und emotionalen Skalen aufgefallen. Basierend auf bisherigen REGman-Studien lassen sich aktuell keine eindeutigen Empfeh-

lungen oder Altersgrenzen ableiten, die einen verlässlichen Einsatz des AEB garantieren. Mit der Variante „verstehe ich nicht“ neben der zu beantwortenden Skala wird zumindest ermöglicht, dass nur die Items beantwortet werden, die tatsächlich verstanden werden. Sofern die betreuenden Personen zum Zeitpunkt des Ausfüllens nicht anwesend sind um Verständnisfragen zu klären, können diese im Nachhinein besprochen werden. Es empfiehlt sich daher eine

„Probemessung“, um das eigentliche Monitoring vorzubereiten. Dies gilt sowohl für AEB als auch für KEB. Auf Basis der statistischen Analysen ist jedoch anzunehmen, dass die Kurzskaleten durch die Darstellung der Items auf übergeordneter Konstruktebene eingängiger und daher leichter zu beantworten sind. Grundsätzlich raten wir davon ab, eigenständig Modifikationen an den Fragebögen vorzunehmen.

Handlungsempfehlungen für die Praxis

Die nachfolgenden Überlegungen zur Implementierung eines psychometrischen Trainingsmonitoring gelten sowohl für den Spitzen- als auch den Nachwuchsleistungssport.

- › Organisatorische Aspekte
 - Grundlegende Voraussetzungen schaffen
 - Compliance & Vertrauen aller Beteiligten sicherstellen
 - Strukturen & Regeln
 - Regelmäßigkeit, ggf. Erinnerungsfunktionen
 - Datensicherheit & Vertraulichkeit
 - Transparentes Feedback
 - Technische Durchführbarkeit & Praktikabilität

- › Richtige Anwendung
 - Zeitpunkt des Ausfüllens berücksichtigen
 - Keine Veränderung am Fragebogen!
- › Interpretation
 - Kontext berücksichtigen
 - AEB/KEB dienen der Unterstützung der Trainingsdokumentation; sie zeigen nur Verläufe auf und können nur einen Hinweis geben – keine Ampel oder alleiniges Entscheidungskriterium

Weiterführende Literatur zum psychometrischen Erholungs-Beanspruchungs-Monitoring

Die nachfolgende Liste stellt eine Empfehlung für weiterführende wissenschaftliche Lektüre zum Thema des psychometrischen Erholungs-Beanspruchungs-Monitorings dar.

Heidari, J., Kölling, S., Pelka, M. & Kellmann, M. (2018). Monitoring the recovery-stress state in athletes. In M. Kellmann & J. Beckmann (Hrsg.), *Sport, recovery and performance: Interdisciplinary insights* (S. 3-18). Abingdon: Routledge.

Kellmann, M. & Beckmann, J. (Hrsg.). (2018). *Sport, recovery and performance: Interdisciplinary insights*. Abingdon: Routledge.

Kellmann, M., Kölling, S. & Pelka, M. (2018). Erholung und Belastung im Leistungssport. In R. Fuchs & M. Gerber (Hrsg.), *Handbuch Stressregulation und Sport* (S. 435-449). Heidelberg: Springer.

Kölling, S., Heidari, J., Pelka, M. & Kellmann, M. (2019). Erholungs- und Belastungssteuerung. In K. Staufenbiel, M. Liesenfeld & B. Lobinger (Hrsg.), *Angewandte Sportpsychologie für den Leistungssport* (S. 188-203.) Göttingen: Hogrefe.

Saw, A. E., Kellmann, M., Main, L. C. & Gatin, P. B. (2017). Athlete self-report measures in research and practice: Considerations for the discerning reader and fastidious practitioner. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(S2), 127-135.

Das Manual ist unter folgender Angabe erhältlich:

Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (2016). *Das Akutmaß und die Kurzsкала zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport - Manual*. Hellenthal: Sportverlag Strauß.

Literatur

Brink, M. S., Frencken, W. G. P., Jordet, G. & Lemmink, K. A. P. M. (2014). Coaches' and players' perception of training dose: Not a perfect match. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 497-502.

Collette, R., Kellmann, M., Ferrauti, A., Meyer, T. & Pfeiffer, M. (2018). Relation between training load and recovery-stress state in high-performance swimming. *Frontiers in Physiology*, 9, 845. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00845>

DiFiori, J. P., Benjamin, H. J., Brenner, J., Gregory, A., Jayanthi, N., Landry, G. L. & Luke, A. (2014). Overuse injuries and burnout in youth sports: A position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 24(1), 3-20.

Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (2016). *Das Akutmaß und die Kurzsкала zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport - Manual*. Hellenthal: Sportverlag Strauß.

Kölling, S., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2019). Modification and applicability of questionnaires to assess the recovery-stress state among adolescent and child athletes. *Frontiers in Physiology*, 10, 1414. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01414>

- Matos, N. F., Winsley, R. J. & Williams, C. A. (2011). Prevalence of nonfunctional overreaching/overtraining in young English athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 1287-1294.
- Meeusen, R. & De Pauw, K. (2018). Overtraining - what do we know? In M. Kellmann & J. Beckmann (Hrsg.), *Sport, recovery, and performance: Interdisciplinary insights* (S. 51-62). Abingdon: Routledge.
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport. REGman - Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Pelka, M., Schneider, P. & Kellmann, M. (2018). Development of pre- and post-match morning recovery-stress states during in-season weeks in elite youth football. *Science and Medicine in Football*, 2, 127-132.
- Raglin, J. S., Sawamura, S., Alexiou, S., Hassmén, P. & Kenttä, G. (2000). Training practices and staleness in 13-18-year-old swimmers: A cross-cultural study. *Pediatric Exercise Science*, 12, 61-70.
- Saw, A. E., Kellmann, M., Main, L. C. & Gatin, P. B. (2017). Athlete self-report measures in research and practice: Considerations for the discerning reader and fastidious practitioner. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(S2), 127-135.
- Saw, A. E., Main, L. C. & Gatin, P. B. (2015). Role of a self-report measure in athlete preparation. *Journal of Strength Conditioning Research*, 29, 685-691.
- Saw, A. E., Main, L. C. & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: Subjective self-report measures trump commonly used objective measures: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 281-291.
- Scantlebury, S., Till, K., Sawczuk, T., Weakly, J. & Jones, B. (2018). Understanding the relationship between coach and athlete perceptions of training intensity in youth sport. *Journal of Strength Conditioning Research*, 32, 3239-3245.

5.2 Mentale Ermüdung & Erholung

Fabian Loch & Michael Kellmann

5.2



Plakative Aussagen wie „*Wir waren mental nicht mehr frisch*“ lassen sich häufig in der öffentlichen Sportberichterstattung finden und auch die Sportpraxis schreibt besonders mentalen Erholungsaspekten zunehmend eine wichtige Bedeutung zu. Somit rücken neben der reinen physiologischen Betrachtung von Ermüdung und Erholung zusätzlich die Aspekte der mentalen Ermüdung sowie der mentalen Erholung in den sportwissenschaftlichen Fokus. Insbesondere in Sportarten, in denen hohe kognitive Anforderungen über einen längeren Zeitraum unter hohen physischen Belastungen gestellt werden, besteht die Gefahr einer mentalen Ermüdung, die zu Leistungseinbußen führen kann. Hieraus leitet sich eine sportpraktische Notwendigkeit für Regenerationsmaßnahmen ab, mit denen einer akuten mentalen Ermüdung positiv entgegengewirkt werden kann. Aus Sicht der Sportpraxis ist die Untersuchung von mentalen Regenerationsstrategien und die Gestaltung von Erholungspausen innerhalb eines Wettkampfes bzw. bei aufeinanderfolgenden Wettkämpfen innerhalb weniger Tage von zentraler Bedeutung. Da die Aspekte der mentalen Ermüdung/mentalenerholung noch neue Themen der sportwissenschaftlichen Forschung sind, wird im ersten Schritt ein kurzer inhaltlicher Überblick über beide Bereiche gegeben, um dann erste REGman-Befunde zusammenzufassen.

Mentale Ermüdung

Langanhaltende kognitive Belastungen (z. B. lange Wettkampftage, mehrere Wettkämpfe an einem/oder mehreren Tagen) können zu einem biopsychologischen Zustand der mentalen Ermüdung führen, der sich negativ auf die sportliche Leistungsfähigkeit auswirken kann (Marcora, Staiano & Manning, 2009; Van Cutsem et al., 2017). Die Ausprägungen eines mentalen

Ermüdungszustandes können sich auf drei unterschiedlichen Ebenen zeigen, 1. der psychologisch-subjektiven Ebene, 2. der Verhaltensebene sowie 3. der physiologischen Ebene (Van Cutsem et al., 2017). Eine Übersicht über die Ausprägungsebenen mentaler Ermüdung lässt sich der Tabelle 5.2.1 entnehmen. Die subjektiv-psychologischen Kennzeichen umfassen vor allem ein gesteigertes Müdigkeitsempfinden, Energielosigkeit bzw. Aktivierungsmangel sowie eine verminderte Motivation und Aufmerksamkeit (Van Cutsem et al., 2017). Als zentraler Faktor gilt hierbei das höhere Anstrengungsempfinden bzw. die verringerte Zeit bis zur Erschöpfung, wodurch insbesondere die sportspezifische Leistungsfähigkeit negativ beeinflusst wird (Marcora et al., 2009; Smith, Marcora & Coutts, 2015). Das Hauptmerkmal auf der Verhaltensebene ist die Verminderung der kognitiven und motorischen Leistungsfähigkeit, die sich vor allem in einer eingeschränkten Konzentrationsfähigkeit oder einer sinkenden Ausführungsgenauigkeit sowie einer Reaktionsverzögerung verdeutlicht (Van Cutsem et al., 2017). Die Ergebnisse einer Befragungsstudie zum Verständnis von mentaler Ermüdung ergänzen insbesondere die Kennzeichen der Verhaltensebene, da u. a. Athleten und Trainer Aspekte wie gedankliche Loslösung, reduzierte Begeisterung für anstehende Herausforderungen, eingeschränkte Aufmerksamkeitslenkung sowie zurückgehende Disziplin als typisch beschreiben (Russell, Jenkins, Rynne, Halson & Kelly, 2019). Auf der physiologischen Ebene zeigt sich der mentale Ermüdungszustand hauptsächlich in Veränderungen der Gehirnaktivität (Russell et al., 2019). Veränderungen von kardiovaskulären, respiratorischen und metabolischen Reaktionen auf eine körperliche Belastung in einem mental ermüdeten Zustand konnten bislang nicht nachgewiesen werden (Marcora et al., 2009; Van Cutsem et al., 2017).

Tab. 5.2.1: Kennzeichen eines mentalen Ermüdungszustandes.

| Subjektiv-psychologische Ebene | Verhaltensebene | Physiologische Ebene |
|--|---|---------------------------------|
| Stimmungs- und Gefühlsveränderungen | Rückgang der Leistungsfähigkeit | Veränderung der Gehirnaktivität |
| negativer Gemütszustand | eingeschränkte Konzentrationsfähigkeit | |
| gesteigertes Müdigkeitsempfinden | eingeschränkte Aufmerksamkeitslenkung | |
| Aktivierungsmangel | gedankliche Loslösung von anstehenden Herausforderungen | |
| Beeinflussung der Widerstandsfähigkeit | sinkende Motivation | |
| | reduzierte Begeisterung | |

Mentale Erholung

Bislang hat sich eine Trennung der Erholungsaspekte bzw. Erholungsstrategien von einer körperlichen und gesamt-psychischen Betrachtung etabliert, jedoch hat die mentale Erholung als eigenständiger Bereich wenig Aufmerksamkeit in der Sportwissenschaft bzw. Sportpsychologie bekommen (Kölling, Loch & Kellmann, 2019). Demnach liegt eine allgemeingültige Definition mentaler Erholung bislang nicht vor. Das Konzept der mentalen Erholung beschreibt grundsätzlich den Prozess der Zurückgewinnung von kognitiven Fähigkeiten (z. B. Konzentrationsfähigkeit) sowie die Wiederherstellung mentaler Leistungsfähigkeit während einer ausreichenden Erholungspause (Balk, de Jonge, Oerlemans & Geurts, 2019). Demnach zielt die mentale Erholung hauptsächlich darauf ab, die Leistungsbereitschaft für nachfolgende Trainingseinheiten bzw. den nachfolgenden Wettkampf sicherzustellen sowie die dafür benötigten Ressourcen mithilfe von passenden mentalen Regenerationsmaßnahmen wiederzuerlangen. Insbesondere in Wettkampfpausen erscheint die Möglichkeit des kurzfristigen mentalen Abschaltens für Athletinnen und Athleten als wichtig, um

durch den Wechsel von Belastung und Erholung das individuelle mentale Gleichgewicht wiederzuerlangen.

Wenngleich sich die einzelnen Ebenen mentaler Ermüdung (vgl. Tab. 5.2.1) gegenseitig bedingen, wird es als sinnvoll angesehen, dass mentale Regenerationsstrategien hauptsächlich auf der subjektiv-psychologischen Ebene sowie der Verhaltensebene ansetzen, um akut auftretenden Symptomen mentaler Ermüdung entgegenzuwirken. Typischerweise beziehen sich psychologische Erholungsstrategien wie Selbstregulationstechniken, Strategien zur Ressourcenaktivierung sowie Entspannungsverfahren entweder auf mentale oder körperliche Reaktionen (Kellmann et al., 2018). Mit dem Fokus auf regenerationsfördernde Maßnahmen in kurzen Wettkampfpausen lassen sich psychologisch-orientierte sowie psychologisch-ergänzende Strategien zusammenfassen (Balk et al., 2019; Keilani et al., 2016; Loch, Ferrauti, Meyer, Pfeiffer & Kellmann, 2019). Die in Tabelle 5.2.2 genannten mentalen Erholungsstrategien können grundsätzlich dazu beitragen, Athletinnen und Athleten in der Belastungspause dabei zu unterstützen, die Stressreaktion zu reduzieren, das Er-

Tab 5.2.2: Darstellung möglicher mentaler Erholungsstrategien für kurze Belastungspausen.

| | | |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Mentale Erholung | psychologisch-orientierte Strategien | Atemtechniken |
| | | Imagination |
| | | Powermap |
| | | Debriefing |
| | | Detachment |
| | psychologisch-ergänzende Strategien | erholsame Umweltbedingungen |
| | | Musik |
| | | Nahrungssupplemente (z. B. Koffein) |

regungsniveau zu regulieren, das mentale sowie körperliche Wohlbefinden zu steigern und Konzentration, Motivation sowie Aufmerksamkeit zu fördern, um nachfolgend das individuelle Leistungsoptimum zu erreichen.

Mögliche Diagnostik von mentaler Ermüdung und mentaler Erholung

In Bezug auf die aktuelle Studienlage werden typischerweise psychometrische Verfahren wie der Profile of Mood States (POMS; McNair, Lorr & Droppleman, 1992), die Rating of Perceived Exertion (RPE; Borg, 1998) oder visuelle Analogskalen (VAS) eingesetzt, um das subjektive Empfinden von mentaler Ermüdung bzw. mentaler Erholung im Zeitverlauf zu erfassen (Marcora et al., 2009; Russell et al., 2019). Als Ergänzung dazu hat sich innerhalb des REGman-Projekts bislang der Einsatz des Akutmaß Erholung und Beanspruchung (AEB; Kellmann, Kölling & Hitzschke, 2016) sowie der Kurzskala Erholung und Beanspruchung (KEB; Kellmann et al., 2016) als sinnvoll erwiesen. Beide Verfahren bilden den

Beanspruchungs- bzw. Erholungszustand auf unterschiedlichen Ebenen (mentaler, emotionaler, physischer und allgemeiner) ab, wodurch einerseits die individuelle Unterscheidung von körperlichen bzw. mentalen Erholungs- und Beanspruchungszuständen erfasst werden und andererseits ein ganzheitliches Bild des Ermüdungs- bzw. Erholungsprozess über die Zeit aufgezeigt werden kann.

Aktuelle REGman-Befunde

Im Rahmen einer Pilotstudie im Laborsetting wurden die grundlegenden Effekte mentaler Regenerationsstrategien auf Indikationen von Erholung im Zeitverlauf (vor kognitiver Belastung, nach kognitiver Belastung, nach mentaler Erholung) untersucht. Hierfür wurde in einem cross-over Studiendesign die Wirkungsweise von mentalen Regenerationsmaßnahmen nach der Herbeiführung von mentaler Ermüdung auf den Erholungs-Beanspruchungszustand (mittels KEB) sowie das subjektive Ermüdungsempfinden (mittels VAS) von Studierenden getestet. Im Anschluss an eine 60-minütige kognitive Belastung am PC führten die Probanden drei mentale

regenerationsfördernde Strategien (Powernap, Atemregulation, Imagination) sowie eine Kontrollbedingung über 25 Minuten durch. Alle drei Interventionen wurden in einem ruhigen dunklen Raum in liegender Position umgesetzt. Ein zuvor aufgenommenes Audioskript leitete die Probanden durch die Atemregulation sowie die Imagination. Ein Auszug der Ergebnisse ist den Abbildungen 5.2.1 bis 5.2.3 zu entnehmen. Die Verläufe des *Allgemeinen Erholungszustandes* bzw. der *Mentalen Leistungsfähigkeit* zeigen über alle Bedingungen hinweg zunächst ein Absinken zum Messzeitpunkt nach der kognitiven Belastung und nachfolgend ein deutliches Ansteigen zum Erfassungszeitraum nach der mentalen Erholungsintervention. Für die Empfindung von mentaler Ermüdung liegt ein umgekehrter Verlauf vor, der zunächst ansteigt und zum dritten Messzeitpunkt nach der mentalen Erholung wieder deutlich absinkt. Insgesamt zeigen zwar die Ergebnisse, dass alle vier Bedingungen auf der mentalen bzw. emotionalen Erholungsebene als erholend empfunden wurden und zu einer reduzierten Bewertung von mentaler Ermüdung führen, jedoch konnten keine signifikanten Unterschiede der mentalen Erholungsinterventionen gegenüber der Kontrollgruppe gefunden werden. Ergänzend dazu spiegeln die Ergebnisse den Aspekt der individuellen Passung von Regenerationsstrategien wider, da beispielsweise nicht alle Probanden in der Lage waren während der Intervention Powernap überhaupt einzuschlafen bzw. demgegenüber Probanden während der Durchführung der Atemregulation eingeschlafen sind. Diese wurden für die Analyse der Ergebnisse ausgeschlossen.

Im weiteren REGman-Verlauf werden Ende des Jahres 2019 und zu Beginn des Jahres 2020 diese ersten Erkenntnisse in Untersuchungen im sportspezifischen Setting übertragen. Dazu wird u. a. eine Studie mit leistungsorientierten Sportschützen durchgeführt, um die Wirkungsweise von mentalen Regenerationsstrategien in der spezifischen Wettkampfpause zwischen zwei

simulierten Wettkämpfen auf den subjektiven Erholungs-Beanspruchungs-Zustand, das Belastungsempfinden sowie die sportstpezifische Leistungsfähigkeit zu untersuchen. Das Ziel besteht darin unter möglichst realitätsnahen Bedingungen (z. B. zeitlicher Ablauf, Wettkampflänge) sportartstpezifische Ableitungen zur Gestaltung kurzfristiger mentaler Regenerationsmaßnahmen in Belastungspausen zu erarbeiten.

Handlungsempfehlungen für die Praxis

Auf der Grundlage des aktuellen Wissensstandes lassen sich erste Handlungsempfehlungen für die Gestaltung von mentalen Regenerationsstrategien in Wettkampfpausen für Athleten zusammenfassen:

- ▶ Mentale Erholung ist ein individueller Prozess, weshalb mentale Regenerationsstrategien an die individuellen Bedürfnisse angepasst sein sollten.
- ▶ Athleten müssen erlernen, den eigenen individuellen mentalen Zustand einzuschätzen, um ein akutes Ungleichgewicht von Erholung und Beanspruchung zu erkennen.
- ▶ Ein regelmäßiges Monitoring (z. B. Einsatz von psychometrischen Instrumenten) von mentaler Ermüdung und Erholung ermöglicht die Chance, bewusste Phasen mentaler Erholung zu planen und umzusetzen.
- ▶ Selbstgewählte und pro-aktiv eingesetzte Regenerationsmaßnahmen können es den Athletinnen und Athleten ermöglichen bestmöglich auf einen akuten mentalen Ermüdungszustand zu reagieren, um den Erholungsertrag zu erhöhen.

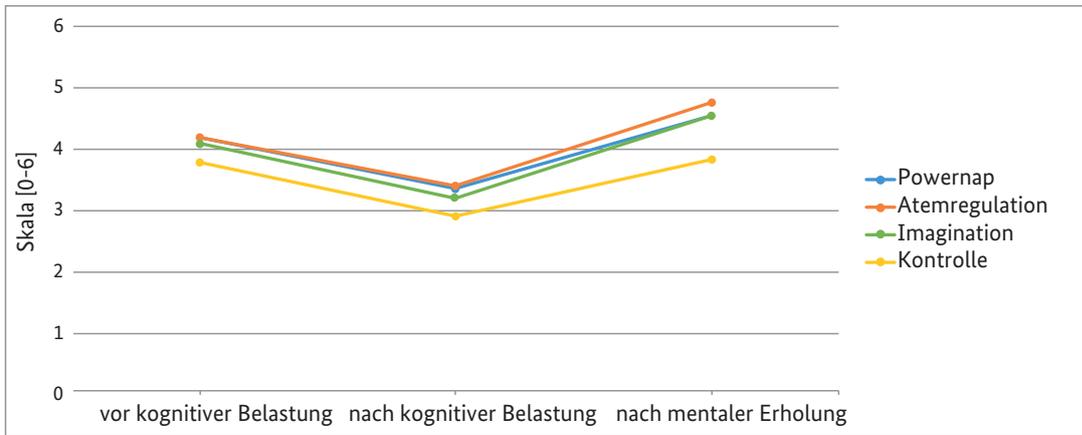


Abb. 5.2.1: Zeitlicher Verlauf beim Item Allgemeiner Erholungszustand des KEB.

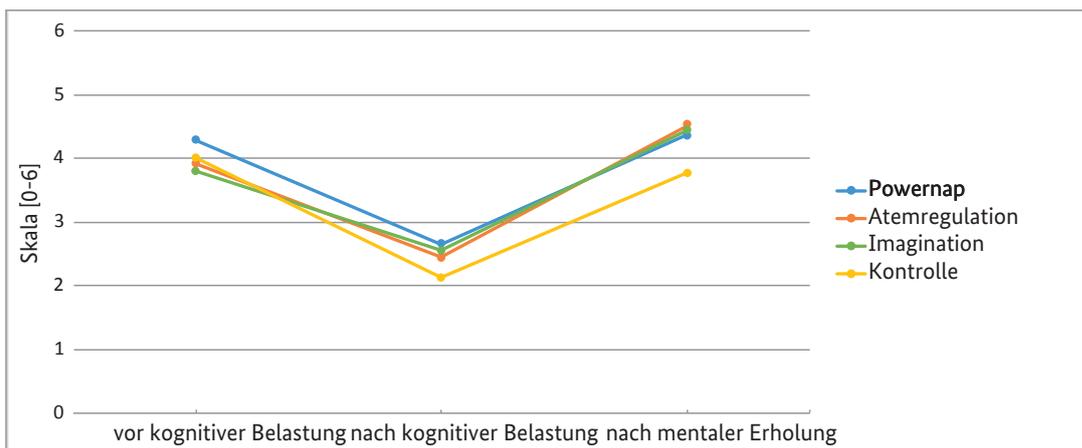


Abb. 5.2.2: Zeitlicher Verlauf beim Item Mentale Leistungsfähigkeit des KEB.

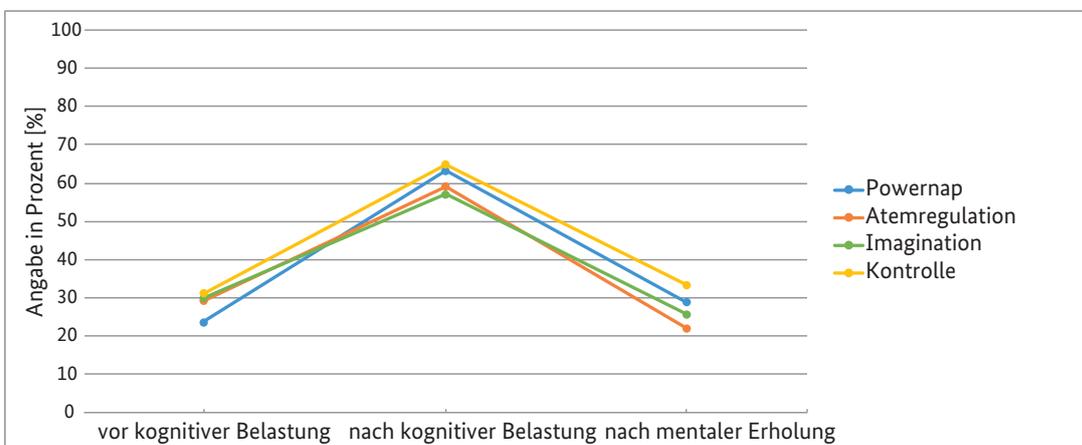


Abb. 5.2.3: Zeitlicher Verlauf bei der Bewertung mentaler Ermüdung (mittels VAS).

- ▶ Athleten sollten die Möglichkeit erhalten, verschiedene mentale Regenerationsstrategien zu testen und diese an die sportartspezifischen Gegebenheiten in Training und Wettkampf anzupassen.
- ▶ Gemeinsam mit Athleten kann eine spezifische mentale Erholungsroutine für die Wettkampfpause als Ergänzung zu weiteren Regenerationsmaßnahmen definiert und erarbeitet werden.

Literatur

- Balk, Y. A., de Jonge, J., Oerlemans, W. G. M. & Geurts, S. A. E. (2019). Physical recovery, mental detachment and sleep as predictors of injury and mental energy. *Journal of Health Psychology*, 24, 1828-1838.
- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scale*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Keilani, M., Hasenöhr, T., Gartner, I., Krall, C., Fürnhammer, J., Cenik, F. & Crevenna, R. (2016). Use of mental techniques for competition and recovery in professional athletes. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 128(9), 315-319.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., ... Beckmann, J. (2018). Recovery and performance in sport: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 240-245.
- Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (2016). *Das Akutmaß und die Kurzskala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport - Manual*. Hellenthal: Sportverlag Strauß.
- Kölling, S., Loch, F. & Kellmann, M. (2019). Mentale Ermüdung und Erholung [Mental Fatigue and Recovery]. In A. Güllich & M. Krüger (Hrsg.), *Handbuch Sport und Sportwissenschaft*. Berlin: Springer.
- Loch, F., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2019). Resting the mind – A novel topic with scarce insights. Considering potential mental recovery strategies for short rest periods in sports. *Performance Enhancement & Health*, 6, 148-155.
- Marcora, S. M., Staiano, W. & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106, 857-864.
- McNair, D. M., Lorr, M. & Droppleman, L. F. (1992). *Manual for the Profile of Mood States*. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service.
- Russell, S., Jenkins, D., Rynne, S., Halson, S. L. & Kelly, V. (2019). What is mental fatigue in elite sport? Perceptions from athletes and staff. *European Journal of Sport Science*, 19, 1367-1376.
- Smith, M. R., Marcora, S. M. & Coutts, A. J. (2015). Mental fatigue impairs intermittent running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(8), 1682-1690.
- Van Cutsem, J., Marcora, S. M., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R. & Roelands, B. (2017). The effects of mental fatigue on physical performance: A systematic review. *Sports Medicine*, 47(8), 1569-1588.

5.3 Schlaf

Annika Hof zum Berge, Sarah Kölling & Michael Kellmann

5.3



Schlaf wird als wiederkehrender Verhaltenszustand mit reduzierter Bewegung und Reaktionsfähigkeit definiert, der eine Pause von vorherigen Wachphasen ermöglicht und als wertvolle Ressource für das psychologische und physiologische Wohlbefinden angesehen wird (Caia, Kelly & Halson, 2018; Ehrlenspiel & Erlacher, 2018). Insbesondere für Spitzensportlerinnen und -sportler, von denen konstant hohe Leistungen erwartet werden, ist eine angemessene Balance zwischen Beanspruchung und Erholung von entscheidender Bedeutung (Kellmann et al., 2018) und der Schlaf somit eine der wichtigsten Erholungsstrategien (Venter, 2014). Die Gesamtschlafdauer, die Schlafqualität und der Zeitpunkt der Schlafphasen werden als wesentliche Komponenten angesehen, die die Fähigkeit zum Training, zur Maximierung der Trainingsreaktion sowie zur Erholung und Leistung beeinflussen (Sargent, Halson & Roach, 2014).

Die tiefgreifende Bedeutung von Schlaf für die sportliche Leistungsfähigkeit zeigt sich aber vor allem dann, wenn dieser ausbleibt. Einhergehend mit Schlafmangel zeigen sich Einbußen in Schnellkraft und Ausdauer, Defizite in den neurokognitiven Funktionen (z. B. Aufmerksamkeit, Gedächtnis) sowie eine Beeinträchtigung der körperlichen Gesundheit (z. B. erhöhtes Krankheits- und Verletzungsrisiko, Gewichtsschwankungen) (Simpson, Gibbs & Matheson, 2017). Nichtsdestotrotz weist eine große Anzahl an Athletinnen und Athleten eine verminderte Schlafqualität auf (Caia et al., 2018; Halson, 2008). So ließen sich unter anderem beinahe die Hälfte (42%) der deutschen U20 Eishockey-Nationalmannschaft mit Hilfe des Pittsburgh-Sleep-Quality-Index (Buysse, Reynolds, Monk, Berman & Kupfer, 1989) vor Beginn des WM-Trainingslagers als „schlechte Schläfer“ klassifizieren (Verweis Abschnitt 7.1) (Hof zum Berge, Loch et al., 2019).

Gestörter Schlaf bei Athletinnen und Athleten lässt sich auf eine große Bandbreite verschiedenster Faktoren zurückführen. Zu diesen zählen die Zunahme von Muskelverspannungen, Müdigkeit und Schmerzen nach Training und Wettkämpfen, häufige internationale Reisen, Störungen durch Licht und Lärm und eine Zunahme von psychischem Stress (Kölling, Duffield, Erlacher, Venter & Halson, 2019). Zudem können längere Schlafphasen am Nachmittag, sowie die Einnahme von Stimulanzien (z. B. Koffein), häufiges Reisen, Schlafen in verschiedenen Umgebungen (z. B. in Hotels) und darüber hinaus Hydratisierung oder Dehydratisierung vor dem Schlafengehen eine Verkürzung des Nachtschlafes zur Folge haben (Juliff, Halson & Pfeiffer, 2015). Gerade weil eine Vielzahl dieser Störvariablen zum alltäglichen Leben im Leistungssport gehören und nur schwer kontrollierbar bzw. veränderbar sind, ist die Implementierung eines effizienten Schlafmonitorings essentiell, um dysfunktionalen Schlaf frühzeitig erkennen und Interventionsmaßnahmen anbieten zu können um mit diesen Störfaktoren bestmöglich umgehen zu können (Halson, 2019).

Methodische Aspekte

Zur Erfassung von Schlaf wird im Folgenden zwischen vier Messmethoden unterschieden: die subjektive Erfassung mittels (1) Schlafprotokollen und (2) Schlaffragebögen sowie die objektive Schlaferfassung von Schlafparametern mittels (3) Aktigraphie (Bewegungssensoren) und die Messung der Schlafarchitektur mit Hilfe (4) portabler Polysomnographie (PSG). Die Wahl des passenden Messinstrumentes ist dabei von der zur untersuchenden Fragestellung abhängig (Tab. 5.3.1). Die Kombination von subjektiven und objektiven Messverfahren ist zudem empfehlenswert (Kölling, Endler, Ferrauti, Meyer & Kellmann, 2016).

Tab. 5.3.1: Überblick über Messmethoden und deren Einsatzgebiete.

| | Messmethode | Vorteile | Limitationen | Einsatz in der Praxis |
|-----------|--|--|---|---|
| Subjektiv | Schlafprotokoll | - Subjektive Informationen über tägliche Variabilität und Schlafqualität (Schlafparameter) | - Höherer Aufwand als Schlafragebögen - Möglicherweise durch eigene Erwartungen an den Schlaf verzerrt | - Erfassung subjektiver Wahrnehmung und Bewertung des Schlafes - Erfassung subjektiver Veränderungen im Schlafmuster |
| | Schlaffragebögen | - Geringer Aufwand - schnelle und einfache Erfassung von dysfunktionalem Schlaf im klinischen Setting | - Anfällig für Erinnerungsverzerrungen - Nur für Personengruppen geeignet, die verlässlich über eigenes Selbst berichten können - keine Erfassung von Schlafstadien möglich | - Erfassung klinisch-dysfunktionaler Verhaltensmuster |
| Objektiv | Aktigraphie (Bewegung wird mit Schlaf korreliert) | - Objektive Informationen über tägliche Variabilität und Schlafqualität (Schlafparameter) - Einsatz in gewohnter Schlafumgebung | - keine valide Erfassung von Schlafstadien | - Längsschnittmonitoring Analyse veränderter Schlafmuster als Reaktion auf externe und interne Faktoren |
| | Portable Polysomnographie (Schlafmessung mittels EEG, EOG und EMG) | - Objektive Erfassung von Schlafarchitektur und Schlafparametern - Einsatz in gewohnter Schlafumgebung - Eigenapplikation | - höherer Aufwand als Aktigraphie - Auswertung nur durch Experten möglich | - Aufzeichnung von Schlafphasen und -zyklen (zu Hause oder im Trainingslager) |

In Anlehnung an Martin und Hakim (2011) sowie Hof zum Berge, Kellmann et al. (2019). EEG: Elektroenzephalographie; EOG: Elektrookulographie; EMG: Elektromyographie.

Da es sich bei den meisten Untersuchungen im Leistungssport um Feldstudien handelt, bei denen mehrere Teilnehmende gleichzeitig über längere Zeiträume untersucht werden (z. B. in Trainingslagern), werden die meisten Schlafdaten mithilfe subjektiver Fragebögen oder Aktigraphie-Geräten ermittelt, da diese einfach anzubringen und non-invasiv sind und kein geschultes Personal erforderlich ist, um die Aufzeichnungen auszuwerten (Sargent et al., 2018; Weiss, Johnson, Berger & Redline, 2010). Aktigraphie-Geräte messen dabei die Bewegung einer Person, welche mit dem Schlaf korreliert. Über Algorithmen werden so die Schlafparameter der Einschlafzeit (engl. Sleep Onset Latency; SOL), Aufwachdauer nach dem Einschlafen

(engl. Wake after Sleep Onset; WASO), der Gesamtliegedauer (engl. Time in Bed; TIB) und der Gesamtschlafdauer (engl. Total Sleep Time; TST) ermittelt (Martin & Hakim, 2011). Hierbei ist es von besonderer Bedeutung zwischen wissenschaftlich validierten Geräten und kommerziellen Fitnessgeräten, ohne vorherige wissenschaftliche und firmenunabhängige Evaluation, zu unterscheiden (Sargent, Lastella, Halson & Roach, 2016; Sargent et al., 2018). Eine valide Aufzeichnung von Schlafstadien ist jedoch auch mit wissenschaftlich überprüften Aktigraphie-Geräten nicht möglich. Obwohl sie hilfreiche Instrumente zur Beurteilung des Schlafverhaltens bei einer Langzeitüberwachung sind, können sie keine physiologischen Aspekte des

Schlafes messen (Ehrlenspiel & Erlacher, 2018). Die objektive und valide Messung von Schlafparametern und Schlafstadien ist bisher nur mittels PSG, einer Kombination aus Elektroenzephalographie (EEG), Elektrookulographie (EOG), und Elektromyographie (EMG), möglich. Hierfür gilt die standardisierte Erhebung im Schlaflabor als Goldstandard-Verfahren zur Messung von Schlaf. Jedoch ist eine solche Überwachung in einem Schlaflabor im Spitzensport finanziell und zeitökonomisch nahezu unmöglich (Sargent et al., 2018). Um diese Hürde zu überwinden, schlagen erste Studien die Verwendung von portablen PSG-Geräten vor, und sehen diese als ein ratsames und vielversprechendes Instrument an, um die Schlafarchitektur von Sportlerinnen und Sportlern überwachen zu können (Voinescu, Wislowska & Schabus, 2014).

Einsatz von Messmethoden in REGman

Zur Erfassung von subjektiven Schlafparametern greift REGman auf das Schlafprotokoll der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin zurück, mit dem einzelne Nächte ausführlich (Hoffmann, Müller, Hajak & Cassel, 1997) oder über einen zweiwöchigen Zeitraum (Liendl & Hoffman, 1999) erfasst werden können. Neben der Dokumentation des Schlafverhaltens (v. a. Zubettgeh- und Aufstehzeiten) spielt die subjektive Bewertung des Schlafes eine bedeutende Rolle. Ein wichtiges Kriterium ist die Zufriedenheit mit dem Schlaf („Schlafqualität“). Diese wird maßgeblich durch ein zügiges Einschlafen (i. d. R. < 30 Minuten), seltenes Erwachen und eine ausreichende Länge beeinflusst. In den REGman-Studien wird das Schlafprotokoll vor dem Zubettgehen sowie nach dem Aufstehen in Kombination mit der Kurzsкала Erholung und Beanspruchung (KEB; Kellmann, Kölling & Hitzschke, 2016) eingesetzt, um die subjektive Schlafqualität anhand der Veränderung des Erholungs-Beanspruchungszustands differenziert zu erfassen (siehe Kapitel 5.1). Ferner kann

der langfristige Einsatz dieser Monitoring-Tools dazu dienen Schlüsselereignisse zu identifizieren, um für diese Interventionsmöglichkeiten zu erarbeiten, aber auch um die untergeordnete Relevanz einzelner gestörter Nächte in Relation zu einem sonst funktionalen Schlaf zu stellen.

Je nach Fragestellung werden zudem spezifische Fragebögen eingesetzt, um gezielt dysfunktionale Verhaltensmuster oder Einstellungen zum Schlaf zu untersuchen (vgl. Kapitel 7.1). Bei der Interpretation muss jedoch die Besonderheit des Leistungssportkontextes berücksichtigt werden, welcher beim Vergleich mit Normwerten ggf. zu verzerrten Auffälligkeiten führt. Innerhalb von REGman wird daher derzeit ein Fragebogen validiert, der gezielt das Schlafverhalten von Athletinnen und Athleten abdeckt. Die englische Originalversion dient hierfür als Vorlage (Driller, Mah & Halson, 2018) und umfasst Verhaltensfaktoren, Routinen und Umgebungs- sowie sportbezogene Faktoren.

Während in der ersten Phase von REGman Schlaf primär mittels Aktigraphie (Sensewear, Bodymedia) objektiv erfasst wurde, setzt sich die zweite Phase von REGman vor allem die Messung von Schlafstadien mittels portabler PSG zum Ziel. Aus diesem Grund wurde innerhalb einer ersten Studie ein portables PSG-Gerät (SOMNOwatch plus EEG; Hof zum Berge et al., 2019) validiert. Gerade die Möglichkeit die Elektroden selbst zu applizieren, und dadurch die Anwesenheit einer schlafmedizinisch ausgebildeten Fachkraft zu Beginn der Nachtphase zu neglieren, macht dieses Messinstrument so zu einem funktionalen Tool für die Praxis.

Da portable PPSG bisher kaum Einsatz in der leistungssportlichen Diagnostik erhalten hat, bleibt auch die Akzeptanz und Bereitschaft von Trainerinnen und Trainern sowie Athletinnen und Athleten auf diese zurückzugreifen somit bisher unbekannt. Ziel einer ersten Studie innerhalb REGman war es somit herauszufinden, inwieweit die selbstapplizierte portable PSG

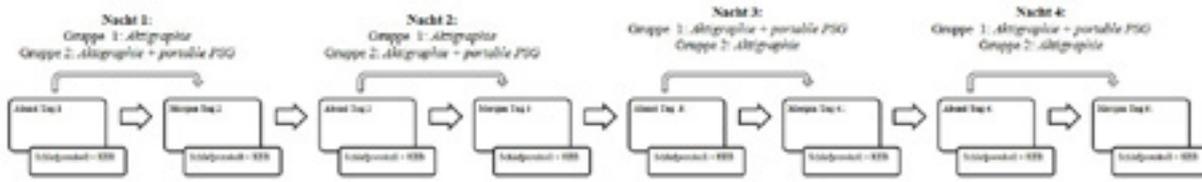


Abb. 5.3.1: Ablauf des Schlafmonitorings.

einen Einfluss auf objektive und subjektive Schlafparameter hat und ob ein Unterschied in Erholungs- und Beanspruchungswerten subjektiv wahrgenommen wird. Hierdurch sollte abgeleitet werden, inwiefern der Einsatz der portablen PSG in sportwissenschaftlichen Felduntersuchungen zumutbar ist (Hof zum Berge, Ferrauti, Meyer, Pfeiffer & Kellmann, 2019). Zu diesem Zweck durchlief der Nachwuchskader der Deutschen Ruder Nationalmannschaft (NK2) ein detailliertes Schlafmonitoring während eines Vorbereitungs-lagers in Frankreich, in dem sowohl eine subjektive Erfassung des Schlafes mittels Schlafprotokollen als auch eine

objektive Messung mittels Aktigraphie und portabler PSG durchgeführt wurden (Abb. 5.3.1).

Hierbei zeigte sich, dass das Tragen eines portablen PSG-Gerätes, trotz der Anbringung von zehn Elektroden im Gesicht (EEG, EOG, EMG) weder einen signifikanten Einfluss auf subjektive Schlafparameter noch auf die objektiv gemessene Schlafqualität (via Aktigraphie) zu haben scheint (Abb. 5.3.2).

Im nächsten Schritt von REGman kann somit nun auch die Schlafarchitektur von Athletinnen und Athleten in Heim- und Trainingslager-

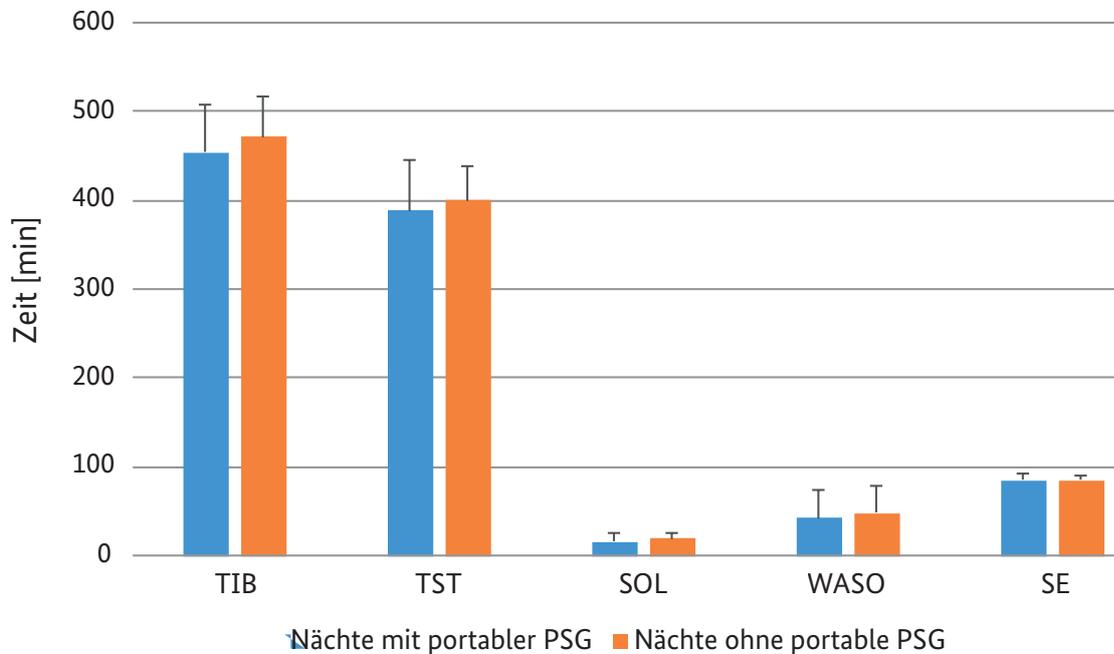


Abb. 5.3.2: Übersicht der objektiven Schlafparameter in Nächten mit und ohne portabler Polysomnographie (PSG). Adaptiert von Hof zum Berge, Ferrauti et al. (2019).

TIB = Gesamtliegezeit; TST = Gesamtschlafzeit; SOL = Einschlaf latenz; WASO = Aufwachdauer; SE = Schlaffeffizienz.

settings erhoben werden. Allerdings sollte diese Messmethode immer mit den betroffenen Sportlerinnen und Sportlern abgesprochen werden und deren Compliance im Vordergrund stehen.

Fallbeispiel REGman

Das Monitoring von Schlafdaten in REGman zeigt eine hohe Varianz im Schlaf auf, welche sich sowohl durch intraindividuelle Veränderungen des Schlafverhaltens einer Person im Längsschnitt (Abb. 5.3.3), als auch interindividuelle Unterschiede im Schlafverhalten zu einem Zeitpunkt feststellen lassen (vgl. Kapitel 7.1). Demzufolge sind Kontextfaktoren von einer besonderen Bedeutung für die Interpretation eines Schlafmonitorings. Das im Beispiel gezeigte Schlafmonitoring von Athletin X (Abb. 5.3.3) zeigt hierbei eine subjektive Erhebung des Schlafes mittels Schlafprotokoll während des

Monats ihrer ersten Europameisterschaft (Wettkampftag an T9). An diesem Beispiel zeigt sich dementsprechend deutlich inwieweit ein unmittelbarer Stressor Einfluss auf die Einschlaf latenz einer Sportlerin oder eines Sportlers haben kann.

Mögliche Interventionen

Essenzieller Ansatzpunkt zur Steigerung der Schlafqualität im Leistungssport ist die Schlafedukation, einhergehend mit der Implementation von Schlafhygieneregeln (Caia et al., 2018). Der Übertrag in die Praxis ist neben der Forschungskomponente demnach ebenfalls von großer Bedeutung für REGman. Kurzworkshops und Fachvorträge (Abb. 5.3.4) zum Schlaf im Leistungssport sind daher ein praktikables Mittel, um ein Bewusstsein für die Bedeutung des Schlafes für die eigene sportliche Leistung zu ge-

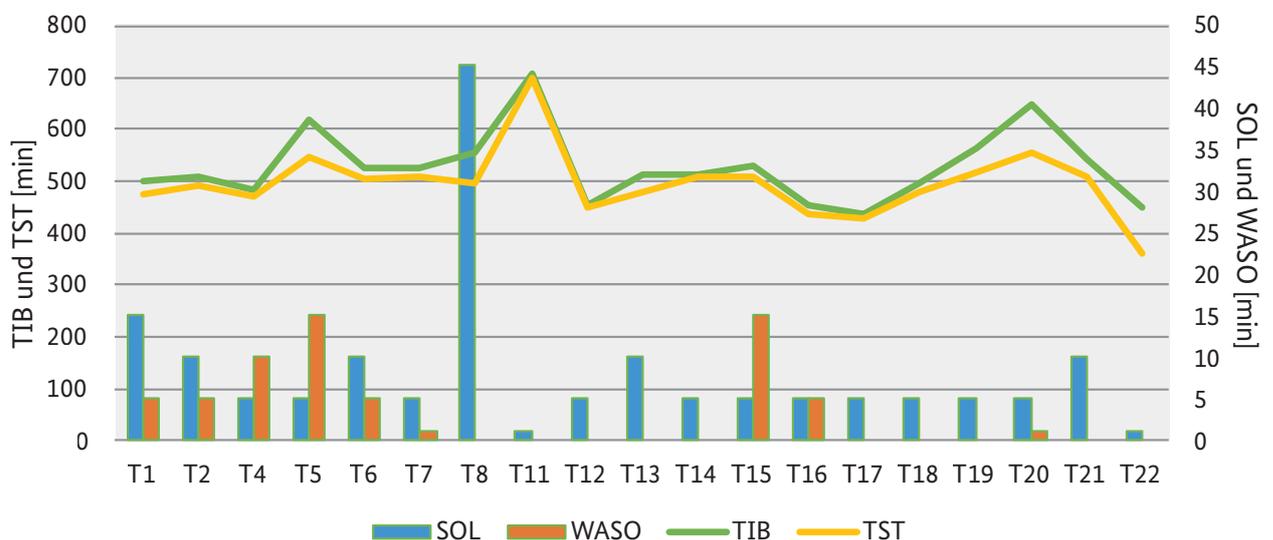


Abb. 5.3.3: Subjektive Schlafparameter über den Verlauf eines Wettkampfmonats. SOL = Einschlaf latenz; WASO = Aufwachdauer; TIB = Gesamt liegezeit; TST = Gesamtschlafdauer; T1 – T22 = Tag 1 bis Tag 22.



Abb. 5.3.4: Fachvortrag bei der UWV der deutschen Jugend-Rudernationalmannschaft.

nerieren und praktische Anwendungsbeispiele zu verdeutlichen. Generell gilt dabei, dass Schlaf priorisiert, rhythmisiert und ritualisiert werden sollte.

Demzufolge ist die Implementierung von Schlafhygieneregeln und Bettgehrouninen zu empfehlen um die Einschlafzeit von Athletinnen und Athleten zu verringern und so die Schlafqualität zu steigern. Eine Übersicht über Empfehlungen für den Leistungssport lassen sich aus Abbildung 5.3.5 entnehmen. Schlafhygiene zielt

darauf ab sich bewusst auf das Schlafengehen vorzubereiten und Stressoren bereits vorab zu minimieren. Hierdurch wird zwischen den „Alltag“ und das Zubettgehen eine Vorbereitungsphase eingebaut. Und auch wenn Sportlerinnen und Sportler möglicherweise nicht in der Lage sind, alle Empfehlungen zur Schlafhygiene zu übernehmen, ist die Integration von so vielen Empfehlungen wie möglich erstrebenswert, um den Schlaf als wichtige Erholungsfunktion zu maximieren (Vitale, Owens, Hopkins & Malhotra, 2019).



Abb. 5.3.5: Empfehlungen und Ziele für Athleten und Athletinnen, um ihren Schlaf zu verbessern. In Anlehnung an Caia et al. (2018).

Abschließend muss jedoch deutlich unterstrichen werden, dass Schlaf hochgradig individuell ist und geringe Schlafqualität zumeist multimodale Ursachen hat (Caia et al., 2018; Hof zum

Berge, Ferrauti et al., 2019; Kölling et al., 2019). Demzufolge sind die Implementierung und Adaptation jeglicher Interventionsmöglichkeiten fortwährend höchst individuell.

Handlungsempfehlungen für die Praxis

- › Die Implementierung eines Schlafmonitors kann dazu beitragen, dysfunktionalen Schlaf frühzeitig zu erkennen und Interventionsmaßnahmen anbieten zu können.
- › Die Wahl des Messinstrumentes hängt dabei maßgeblich von der zu bearbeitenden Fragestellung ab. Dabei sind Schlaftagebücher und Aktigraphie-Geräte primär auf eine längsschnittliche Analyse vorhandener Schlafmuster ausgelegt. Validierte Schlaffragebögen und portable PSG dienen primär der qualitativen Analyse querschnittlicher Daten.
- › Um eine erste Verbesserung des Schlafes herbeizuführen, sollte dieser priorisiert, rhythmisiert und ritualisiert werden.
- › Schlafedukation und die Umsetzung von Schlafhygieneregeln kann dazu beitragen, Einschlafzeiten zu verringern und die Schlafqualität zu steigern.
- › Die Implementierung und Adaptation jeglicher Interventionsmöglichkeiten sollten fortwährend höchst individuell und an die Bedürfnisse der einzelnen Person angepasst sein.

Literatur

- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R. & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28(2), 193-213.
- Caia, J., Kelly, V. G. & Halson, S. L. (2018). The role of sleep in maximising performance in elite athletes. In M. Kellmann & J. Beckmann (Hrsg.), *Sport, recovery, and performance: Interdisciplinary insights* (S. 151-167). Abingdon: Routledge.
- Driller, M. W., Mah, C. D. & Halson, S. L. (2018). Development of the Athlete Sleep Behavior Questionnaire: A tool for identifying maladaptive sleep practices in elite athletes. *Sleep Science*, 11(1), 37-44.
- Ehrlenspiel, F. & Erlacher, D. (2018). Sleep, dreams, and athletic performance. In M. Kellmann & J. Beckmann (Hrsg.), *Sport, recovery, and performance: Interdisciplinary insights* (S. 168 - 182). Abingdon: Routledge.
- Halson, S. L. (2008). Nutrition, sleep and recovery. *European Journal of Sport Science*, 8(2), 119-126.
- Halson, S. L. (2019). Sleep monitoring in athletes: Motivation, methods, miscalculations and why it matters. *Sports Medicine*, 49, 1487-1497.
- Hof zum Berge, A., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2019). Portable polysomnography for sleep monitoring in elite youth rowing: An athlete's gain or the sleep's thief? Manuscript submitted for publication.
- Hof zum Berge, A., Kellmann, M., Kallweit, U., Mir, S., Gieselmann, A., Meyer, T., ... Kölling, S. (2019). Portable PSG for sleep stage monitoring in sports: Assessment of SOMNOWatch plus EEG. *European Journal of Sport Science*. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1659421>
- Hof zum Berge, A., Loch, F., Schwarzenbrunner, K., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2019). Assessment of sleep quality and daytime sleepiness in German national ice hockey players preparing for the world championship. Manuscript submitted for publication.
- Hoffmann, R. M., Müller, T., Hajak, G. & Cassel, W. (1997). Abend-Morgenprotokolle in Schlaforschung und Schlafmedizin - Ein Standardinstrument für den deutschsprachigen Raum. *Somnologie*, 1, 103-109.
- Juliff, L. E., Halson, S. L. & Pfeiffer, J. J. (2015). Understanding sleep disturbance in athletes prior to important competitions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(1), 13-18.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., ... Beckmann, J. (2018). Recovery and performance in sport: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 240-245.
- Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (2016). *Das Akutmaß und die Kurzskala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport - Manual*. Hellenthal: Sportverlag Strauß.
- Kölling, S., Duffield, R., Erlacher, D., Venter, R. & Halson, S. (2019). Sleep-related issues for recovery and performance in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14, 144-148.

- Kölling, S., Endler, S., Ferrauti, A., Meyer, T. & Kellmann, M. (2016). Comparing subjective with objective sleep parameters via multi-sensory actigraphy in German physical education students. *Behavioral Sleep Medicine*, 14(4), 389-405.
- Liendl, S. & Hoffman, J. R. (1999). Compliance-Probleme bei der Bearbeitung von Abend-Morgen-Protokollen - Entwicklung einer Kurzversion der Standardprotokolle der DGSM. *Somnologie*, 3, 73 - 77.
- Martin, J. L. & Hakim, A. D. (2011). Wrist actigraphy. *Chest*, 139(6), 1514-1527.
- Sargent, C., Halson, S. & Roach, G. D. (2014). Sleep or swim? Early-morning training severely restricts the amount of sleep obtained by elite swimmers. *European Journal of Sport Science*, 14(Suppl 1), S310-315.
- Sargent, C., Lastella, M., Halson, S. L. & Roach, G. D. (2016). The validity of activity monitors for measuring sleep in elite athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(10), 848-853.
- Sargent, C., Lastella, M., Romyn, G., Versey, N., Miller, D. J. & Roach, G. D. (2018). How well does a commercially available wearable device measure sleep in young athletes? *Chronobiology International*, 35, 754-758.
- Simpson, N. S., Gibbs, E. L. & Matheson, G. O. (2017). Optimizing sleep to maximize performance: implications and recommendations for elite athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(3), 266-274.
- Venter, R. E. (2014). Perceptions of team athletes on the importance of recovery modalities. *European Journal of Sport Science*, 14(Suppl.), S69-S76.
- Vitale, K. C., Owens, R., Hopkins, S. R. & Malhotra, A. (2019). Sleep hygiene for optimizing recovery in athletes: review and recommendations. *International Journal of Sports Medicine*, 40(8), 535-543.
- Voinescu, B. I., Wislowska, M. & Schabus, M. (2014). Assessment of SOMNOWatch plus EEG for sleep monitoring in healthy individuals. *Physiology Behaviour*, 132, 73-78.
- Weiss, A. R., Johnson, N. L., Berger, N. A. & Redline, S. (2010). Validity of activity-based devices to estimate sleep. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 6(4), 336-342.

6 Regenerationsmaßnahmen und deren individuelle Response

6



6.1 Kaltwasserimmersion

Sabrina Skorski & Felix Buder

6.1



Die Kaltwasserimmersion (KWI) hat sich in den letzten Jahren zu einer der populärsten Regenerationsmethode im (Leistungs-)Sport entwickelt (Halson, 2011). Das Grundprinzip der KWI, umgangssprachlich auch „Eistonne“ genannt, ist der Aufenthalt in einem Kaltwasserbecken oder einer -tonne im Anschluss an ein ermüdendes Training oder einen Wettkampf. Ziel ist insbesondere eine beschleunigte (muskuläre) Regeneration sowie eine Verringerung des Muskelkaters. Besonders vor allem in Phasen, in denen die Erholungszeiträume kurz sind und eine möglichst rasche Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit angestrebt wird, findet die KWI großen Zuspruch. So wird die KWI zum Beispiel in vielen Mannschaftssportspielen während Turnieren, bei Rundfahrten im Radsport oder während Tennisturnieren regelmäßig eingesetzt (Leeder, Gissane, van Someren, Gregson & Howatson, 2012).

REGman-Studien

In wissenschaftlichen Studien zeigt die Anwendung der KWI unter bestimmten Rahmenbedingungen eine mittlere Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit von 2-3% (Poppendieck, Faude, Wegmann & Meyer, 2013). Darüber hinaus zeigen einige Studien eine signifikante Reduzierung des Muskelkaters nach KWI-Anwendung, die noch bis zu 96 h nach der Belastung anhalten kann. Die größten Veränderungen konnten bislang für die Sprint- (+2,6%), Sprungkraft- (+3,0%) sowie die Ausdauerleistungsfähigkeit (+2,6%) beobachtet werden. Dabei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Verbesserung der Leistungsfähigkeit in einigen Studien stark zwischen den einzelnen Probanden variiert, so dass die KWI für einige Athleten nur eine geringe oder gar keine Wirksamkeit zeigte. Weiterhin ist zu betonen, dass bislang zwar größtenteils positive Effekte der KWI beschrieben wurden (Poppendieck et al., 2013), einzelne Studien aber keinen oder sogar einen negativen Effekt der KWI auf

die Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit finden konnten (De Nardi, La Torre, Barassi, Ricci & Banfi, 2011).

Individuelle Response

Trotz vieler positiver Resultate ist die aktuelle Studienlage insbesondere aufgrund der großen Individualität nicht ausreichend, um Spitzensportlern die KWI pauschal, d. h. zum Beispiel für eine gesamte Mannschaft, als Regenerationsmethode zu empfehlen. Ein Grund hierfür ist die große Streubreite der Effekte, die sogar negative Auswirkungen einschließt. Außerdem fehlen intraindividuelle Wiederholungsversuche, die zeigen können, ob es sich bei den bisherigen Studien nur um Gruppeneffekte mit unterschiedlicher Effektivität im Einzelfall handelt oder ob bei wiederholter Anwendung auf der individuellen Ebenen ähnliche Effekte zu beobachten sind. Im REGman-Projekt wurde daher untersucht, ob ein regenerativer Effekt einer Ganzkörper-KWI bzw. das Ausbleiben eines Effekts im Einzelfall reproduziert werden kann.



Abb. 6.1.1: Ganzkörper-Kaltwasserimmersion.

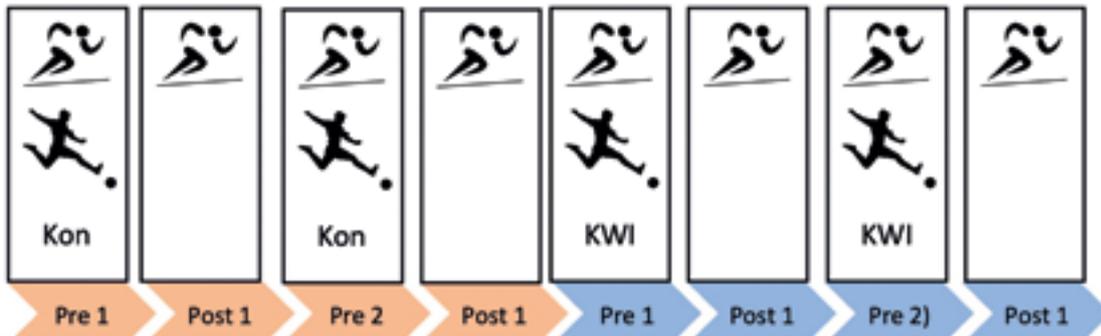


Abb. 6.1.2: Schematischer Ablauf der Studie.

Zur Überprüfung dieser individuellen Response absolvierten sieben Fußballer im Rahmen einer Crossover-Studie insgesamt vier ermüdende fußballspezifische Trainingseinheiten. Unmittelbar nach dem Training erholten sich die Probanden dann passiv oder in der Kaltwassertonne (in der Reihenfolge passiv->KWI; Abb. 6.1.1). Um die Wiederholbarkeit individueller Effekte zu überprüfen wurden beide Maßnahmen in zwei aufeinanderfolgenden Wochen durchgeführt (Abb. 6.1.2).

Die KWI-Intervention beinhaltete 15-minütiges Ganzkörper-Eintauchen bei 12-15°C. In der passiven Bedingung (Kon) verzichteten die Teilnehmer im Verlauf der Erholungsphase auf jegliche Regenerationsmaßnahmen. Um überdauernde Einflüsse der Ermüdung auszuschließen und trainingsbedingte Veränderungen der Leistungsfähigkeit und Belastungsverträglichkeit zu minimieren, erfolgte immer jeweils zwischen den Trainingseinheiten eine einwöchige Wash-Out-Phase. Die vorläufige Auswertung zeigt auf

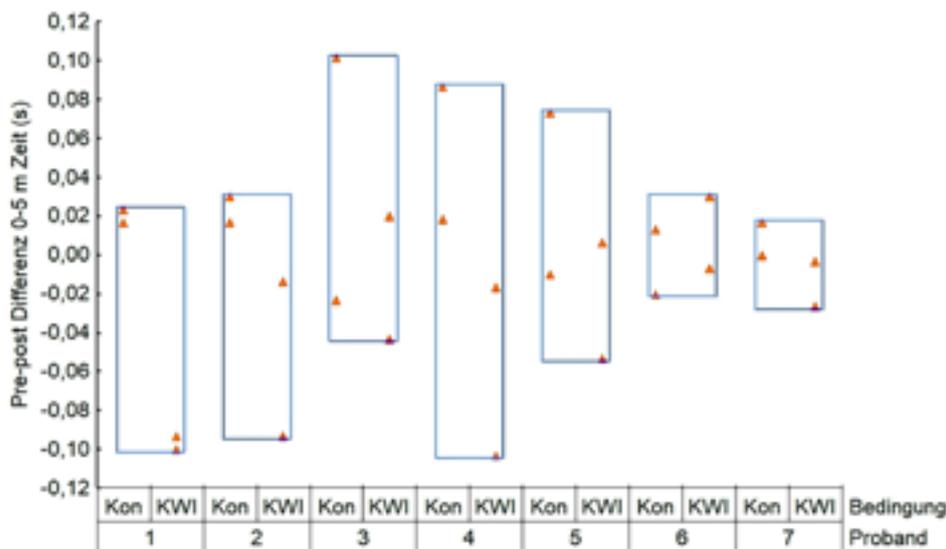


Abb. 6.1.3: Ergebnisse der Crossover-Studie. Dargestellt ist der unterschiedliche Einfluss von KWI und passiver Erholung auf die Antrittsschnelligkeit (pre-post Differenzen in der 5-m Zeit). Die blauen Balken repräsentieren einen Probanden, die roten Dreiecke die Differenz der Sprintzeit vor und nach der intensiven Trainingseinheit (Folgetag). Dabei sind links die passive Erholung (Kon) und rechts die KWI-Interventionen dargestellt. Je näher auf einer der beiden Seiten die Dreiecke beieinander liegen, desto besser die Reproduzierbarkeit.

Gruppenebene einen positiven Effekt der KWI auf die Erholung am Folgetag nach einer intensiven Trainingseinheit. Die Betrachtung der individuellen Response und deren Wiederholbarkeit ergaben sowohl konsistente als auch inkonsistente individuelle Reaktionsmuster (Abb. 6.1.3). Zum Beispiel zeigt Proband 1 eine deutliche Verschlechterung der Sprintzeit am Folgetag nach der passiven Regeneration (Kon), wohingegen er sich nach Anwendung der KWI jeweils deutlich (also reproduzierbar) verbesserte. Bei Proband 7 scheint ein positiver Effekt hingegen insgesamt eher fraglich. Hier zeigt sich eine leichte Verschlechterung der Sprintzeit nach beiden KWI-Anwendungen (also in gewisser Weise reproduzierbar); nach der Kontrollbedingung zeigt sich tendenziell eher keine Veränderung der Sprintzeit. Beispielhaft ist in Abbildung 6.1.3 die 5-m Zeit dargestellt, vergleichbare Resultate zeigen sich auch in der 10-m und 30-Zeit.

Handlungsempfehlungen für die Praxis

- › Im Mittel verbessert die Anwendung einer Kaltwasserimmersion unmittelbar im Anschluss an eine intensive Trainingseinheit gegenüber einer passiven Regeneration die Leistungsfähigkeit bis zum Folgetag.
- › Auch im Einzelfall profitieren Sportler reproduzierbar von der populären „Eistonne“ (z. B. schnelleres Wiederherstellen der Antrittsschnelligkeit, Beschleunigungsfähigkeit und/oder Grundschnelligkeit). Konsistente positive Reaktionen konnten in der vorläufigen Analyse allerdings nur in knapp 50% der Einzelfälle gezeigt werden.
- › Da es sich bei den vorliegenden Ergebnissen noch um eine vorläufige Analyse mit kleiner Probandenzahl handelt, müssen die weiteren Ergebnisse abgewartet werden. Erst dann lassen sich weitergehende Handlungsempfehlungen für einzelne Belastungsformen ableiten.

Literatur

De Nardi, M., La Torre, A., Barassi, A., Ricci, C. & Banfi, G. (2011). Effects of cold-water immersion and contrast-water therapy after training in young soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(4), 609-615.

Halson, S. L. (2011). Does the time frame between exercise influence the effectiveness of hydrotherapy for recovery? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(2), 147-159.

Leeder, J., Gissane, C., van Someren, K., Gregson, W. & Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 46(4), 233-240.

Poppendieck, W., Faude, O., Wegmann, M. & Meyer T. (2013). Cooling and performance recovery of trained athletes: A meta-analytical review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(3), 227-242.

6.2 Aktive Erholung

Thimo Wiewelhove

6.2



Aktive Erholungsstrategien beinhalten moderate, dynamische und rein aerobe Aktivitäten großer Muskelgruppen wie Jogging (Abb. 6.2.1), Fahrradfahren, Schwimmen oder sanftes Krafttraining mit dem Ziel der beschleunigten Wiederherstellung des Stoffwechselgleichgewichts und der muskulären Leistungsfähigkeit. (Nédélec et al., 2013). Die theoretisch erwarteten Wirkmechanismen umfassen u. a. einen erhöhten Blutfluss zur Arbeitsmuskulatur. Es wird vermutet, dass die Erhöhung des Blutflusses die Reparatur geschädigter Muskelzellen durch die Beseitigung von Muskelzelltrümmern und die Beschleunigung des Nährstofftransports zum geschädigten Muskelgewebe fördert. Dies könnte die mit Muskelzellschädigungen einhergehende Abnahme der funktionellen Kapazität der Muskulatur verringern und somit die Erholung der Leistungsfähigkeit beschleunigen (Van Hooren & Peake, 2018). Ferner kann sich die analgetische Wirkung sanfter körperlicher Betä-

tigungen positiv auf das im Rahmen von Muskelzellschädigungen auftretende Schmerzempfinden auswirken (Andersen et al., 2013; Tufano et al., 2012; Zainuddin, Sacco, Newton & Nosaka, 2006). Schließlich wird angenommen, dass eine aktive Erholung von vielen Sportlern als angenehmer gegenüber einer passiven Erholung empfunden wird - möglicherweise u. a. deshalb, da körperliche Aktivität zumindest kurzfristig den Muskelkater mindert. (Van Hooren & Peake, 2018). Dies könnte einen psychologischen Einfluss auf subjektive Messgrößen des Erholungs- und Wohlbefindens haben. Andererseits kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass es durch aktive Erholungsmaßnahmen zu einer Beeinträchtigung des Regenerationsverlaufs kommt (z. B. zusätzliche Muskelzellschädigungen und/oder zusätzliche Entleerung der Glykogenspeicher bzw. verzögerte Wiedereinlagerung von Muskelglykogen).



Abb. 6.2.1: Laufbasierte, moderate aktive Erholung nach einer intensiven Trainingseinheit.

REGman-Studien

Während Gill, Beaven und Cook (2006) sowie Tufano et al. (2012) eine schnellere Normalisierung der Kreatinkinase-Konzentration im Blut sowie eine raschere Wiederherstellung der Kraftleistung durch aktive Erholung nachweisen konnten, zeigte sich in REGman-Studien (Wiewelhove et al., 2016, 2018), dass sowohl eine einmalig absolvierte als auch eine mehrfach über einen Trainingsblock hinweg wiederholte aktive Erholung im Mittel keinerlei Einfluss auf das Entstehen und Abklingen von Ermüdungssymptomen hatte. Darüber hinaus resultierte eine laufbasierte aktive Erholung nach einem Halbmarathon im Vergleich zu passiver Erholung in einem zusätzlichen Anstieg der Kreatinkinase-Konzentration im Blut sowie einer Reduktion des subjektiven Erholungsempfindens (Wiewelhove et al., 2018).

Individuelle Response

Trotz der häufigen Verwendung von aktiven Erholungsmaßnahmen in der Sportpraxis konnten Untersuchungen die vermuteten Wirkmechanismen bislang nicht zweifelsfrei nachweisen. Dies könnte mitunter daran liegen, dass aktive Erholungsinterventionen im Kontext von Experimenten überwiegend über einen nur sehr kurzen Zeitabschnitt (5 bis 15 min) absolviert wurden. Eine solch kurze Anwendungsdauer reicht für einen messbaren Einfluss auf das Regenerationsverhalten womöglich nicht aus. Außerdem zeigte sich, dass positive Erholungseffekte durch aktive Erholungsmaßnahmen nur bei solchen Aktivitäten erzielt wurden, bei denen nicht das eigene Körpergewicht getragen werden musste (d. h. „Ausschwimmen“ und „Ausradeln“). Ferner basieren die bisher berichteten Regenerationseffekte überwiegend auf Gruppenstatistiken bei einmaligem Vergleich der aktiven Erholung mit passiver Erholung. Inwieweit es sich hierbei um rein zufällige Beobachtungen handelt, ist

unbekannt, denn ohne die Wiederholung des Vergleichs von aktiver Erholung mit passiver Erholung innerhalb ein und desselben Studiensettings ist der Ausschluss einer rein zufälligen Response auf die Regenerationsintervention nicht möglich.

Zur Überprüfung der individuellen Response auf eine aktive Erholungsstrategie sowie deren Wiederholbarkeit absolvierten daher elf Athleten aus den Sportspielen im Rahmen einer doppelten Crossover-Studie mehrere ermüdende, sportspielspezifische Konditionstrainingseinheiten (plyometrisches Nieder-Hoch-Sprung-Training kombiniert mit einem Wiederholungssprinttraining (Abb. 6.2.2)). In vier voneinander getrennten Untersuchungsabschnitten erholten sich die Sportler dann jeweils 24 Stunden nach den Einheiten entweder aktiv oder passiv (in der Reihenfolge aktiv->passiv->aktiv->passiv oder in der Reihung passiv->aktiv->passiv->aktiv). Die aktive Regenerationsintervention beinhaltete eine 60-minütige, aerobe, niedrigintensive Aktivität auf dem Fahrradergometer. Im Rahmen der passiven Regeneration verzichteten die Teilnehmer im Verlauf der Erholungsphase auf eine bewusst durchgeführte Regenerationsmaßnahme. Um überdauernde Einflüsse der Ermüdung auszuschließen und trainingsbedingte Veränderungen der Leistungsfähigkeit und Belastungsverträglichkeit zu minimieren, erfolgte immer jeweils zwischen den Untersuchungsabschnitten eine zweiwöchige Wash-Out-Phase.

Auf Gruppenebene ergaben sich keine nennenswerten erholungsfördernden Effekte durch die Anwendung einer 60-minütigen aktiven Erholung auf dem Fahrradergometer am Folgetag nach einer intensiven Belastung. Dies gilt sowohl für die gemessenen leistungs- und muskelbezogenen Ermüdungsmarker als auch für das subjektive Erholungs- und Muskelschmerzempfinden. Die Betrachtung der individuellen Response und deren Wiederholbarkeit ergaben sowohl konsistente als auch diffuse individu-



Abb. 6.2.2: Sportspielspezifisches, hochintensives und ermüdendes Nieder-Hoch-Sprung- und Wiederholungssprinttraining.

elle Reaktionsmuster. Beispielsweise zeigten lediglich drei Sportler eine konstante positive Response auf die aktive Erholungsstrategie bezogen auf die Wiederherstellung der Kraftleistung (Abb. 6.2.3). Ein Athlet zeigte eine konstante negative Response, zwei Athleten eine konstante neutrale Response, drei Athleten nur einmal eine positive oder negative Response und zwei Athleten sogar einmal eine positive und einmal eine negative Response. Ferner ging z. B. eine

konstante positive Reaktion der Kraftleistung nicht zwangsläufig mit einer konstanten positiven Reaktion der reaktiven Sprungleistung oder umgekehrt einher (Abb. 6.2.3). Zwischen den unterschiedlichen Ermüdungsmarkern unterschieden sich die individuellen Reaktionsmuster also wiederum teilweise. Dies gilt sowohl für den Zeitabschnitt unmittelbar nach der aktiven Erholung als auch für den Folgetag.

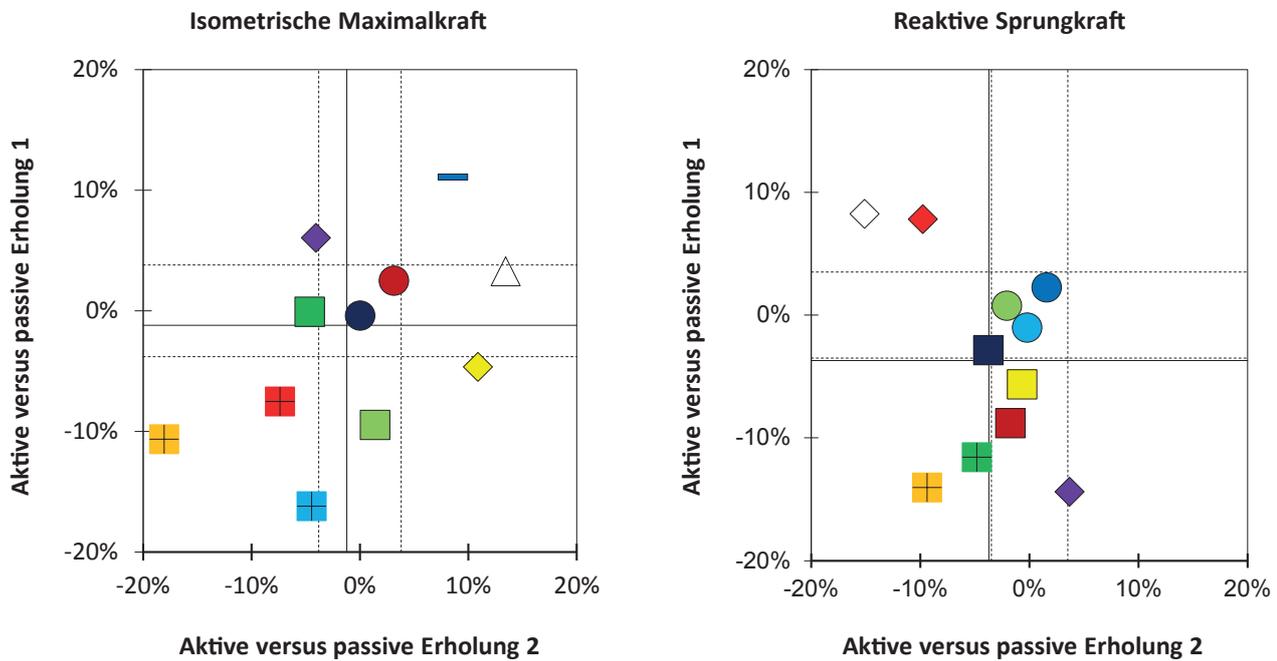


Abb. 6.2.3: Ergebnisse einer doppelten Crossover-Studie. Gegenübergestellt ist der unterschiedliche Einfluss von aktiver und passiver Erholung auf isometrische Maximalkraft und reaktive Sprungkraft im ersten (y-Achse) und zweiten (x-Achse) Crossover-Block. Die Farben repräsentieren die einzelnen Sportler. Die durchgezogenen Linien entsprechen dem über beide Crossover-Blöcke gemittelten Einfluss der aktiven Erholung. Die gestrichelten Linien entsprechen dem gruppenbasierten Variationskoeffizienten im Leistungstest unter Berücksichtigung aller vier erzielten individuellen Baseline-Werte. + = positive Response in beiden Blöcken; - = negative Response in beiden Blöcken; o = keine Response in beiden Blöcken; □ = einmal positive und einmal keine Response; △ = einmal negative und einmal keine Response; ◆ = einmal positive und einmal negative Response.

Handlungsempfehlungen für die Praxis

- Im Mittel besitzt eine aktive Erholung, die am Folgetag nach einer intensiven Belastung absolviert wird, kaum messbare Vorteile gegenüber der passiven Erholung und kann daher nicht grundsätzlich zur Unterstützung mittelfristiger Regenerationsprozesse empfohlen werden.
- Im Einzelfall profitieren Sportler aber vom weit verbreiteten „Ausradeln“ (z. B. schnellere Wiederherstellung der Kraft-

und/oder Sprungkraftleistung und/oder Verbesserung des Erholungs- und/oder Muskelschmerzempfindens) Individuelle positive Reaktionen auf die aktive Erholung sind dabei aber nur in etwa 20-30% der Fälle reproduzierbar und fallen überwiegend in den Bereich des Zufalls. Zudem bedeutet ein konstanter positiver Einfluss auf das Muskelschmerzempfinden nicht automatisch auch eine wiederholbare und positive Veränderung der Leistungsfähigkeit oder andersherum. Ferner besteht das Risiko, dass eine aktive Erholung den Erholungsverlauf auch negativ beeinflussen kann.

Literatur

- Andersen, L. L., Jay, K., Andersen, C. H., Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Topp, R. & Behm, D. G. (2013). Acute effects of massage or active exercise in relieving muscle soreness: Randomized controlled trial. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(12), 3352-3359.
- Fairchild, T. J., Armstrong, A. A., Rao, A., Liu, H., Lawrence, S. & Fournier, P. A. (2003). Glycogen synthesis in muscle fibers during active recovery from intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(4), 595-602.
- Gill, N. D., Beaven, C. M. & Cook, C. (2006). Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *British Journal of Sports Medicine*, 40(3), 260-263.
- Nèdelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S. & Dupont, G. (2013). Recovery in soccer: Part II-recovery strategies. *Sports Medicine*, 43(1), 9-22.
- Tufano, J. J., Brown, L. E., Coburn, J. W., Tsang, K. K. W., Cazas, V. L. & Laporta, J. W. (2012). Effect of aerobic recovery intensity on delayed-onset muscle soreness and strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2777-2782.
- Van Hooren, B. & Peake, J. M. (2018). Do we need a cool-down after exercise? A narrative review of the psychophysiological effects and the effects on performance, injuries and the long-term adaptive response. *Sports Medicine*, 48(7), 1575-1595.
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2016). Effect of repeated active recovery during a high-intensity interval-training shock microcycle on markers of fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 1060-1066.
- Wiewelhove, T., Schneider, C., Döweling, A., Hanakam, F., Rasche, C., Meyer, T., . . . Ferrauti, A. (2018). Effects of different recovery strategies following a half-marathon on fatigue markers in recreational runners. *PLoS ONE*, 13(11), e0207313. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207313>
- Zainuddin, Z., Sacco, P., Newton, M. & Nosaka, K. (2006). Light concentric exercise has a temporarily analgesic effect on delayed-onset muscle soreness, but no effect on recovery from eccentric exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(2), 126-134.

6.3 Foam-Rolling

Thimo Wiewelhove



Foam-Rolling wird von vielen Athleten im Rahmen der kurzfristigen Trainings- und Wettkampfvorbereitung sowie zur Unterstützung der Regeneration eingesetzt. Foam-Rolling ist eine Form der Selbstmassage, bei der bestimmte Muskelgruppen - meist unter Zuhilfenahme einer Schaumstoffrolle - behandelt werden. Neben der „klassischen“ Schaumstoffrolle existieren weitere Selbstmassage-Produkte. Hierzu zählen unter anderem Bälle und Massagesticks sowie diverse Formkombination, die in unterschiedlichen Größen und Härtegraden verfügbar sind und eine Applikation der Selbstmassage an unterschiedlichen relevanten Muskelstrukturen ermöglichen (Abb. 6.3.1) (Wiewelhove et al., 2019).

Empfehlungen bezüglich Anwendungsdauer und Anpressdruck sind uneinheitlich und sowohl von der Art der vorangegangenen Belastung als auch der individuellen Schmerzaffinität abhängig. In wissenschaftlichen Untersuchungen kommen überwiegend Protokolle mit einer Anwendungsdauer von 1-3 x 30-60 s pro Muskelgruppe zum Einsatz (Wiewelhove et al., 2019). Das Ausrollen vom distalen zum proximalen Ansatzpunkt des Muskels und zurück geschieht dabei mit gleichbleibender, langsamer Geschwindigkeit. Ein Grund für die aktuelle Popularität von Foam-Rolling als Warm-Up- und Regenerationsstrategie ist wohl auch die kostengünstige, einfache, selbstständige und zeiteffiziente Anwendbarkeit (Wiewelhove et al., 2019).



Abb. 6.3.1: Foam-Rolling mit unterschiedlichen Selbstmassage-Produkten.

Trotz der Popularität besteht jedoch kein Konsens hinsichtlich des regenerativen Mehrwerts von Foam-Rolling. Es wird vermutet, dass die Effekte im Zusammenhang mit mechanischen, neurologischen, physiologischen und psychophysiologischen Mechanismen stehen (Aboodarda, Spence & Button, 2015; Cavanaugh et al., 2017; Monteiro, Vigotsky, Novaes & Škarabot, 2018; Phillips, Diggin, King & Sforzo, 2018). Aus mechanischer Sicht wird über eine Verringerung von Adhäsionen („Verklebungen“) zwischen den Faszien und eine Veränderung der thixotropen Gewebeeigenschaften spekuliert. Bezüglich neurologischer Vorgänge wird vermutet, dass Foam-Rolling eine analgetische Wirkung durch Schmerzmodulation (z. B. Herabsetzung der Sensitivität von Schmerzrezeptoren) zukommt. Physiologische Wirkungstheorien beinhalten einen erhöhten Blutfluss infolge einer parasympathisch ausgelösten Vasodilatation sowie eine gesteigerte Neutrophilen-Konzentration, die der Entstehung von Entzündungsherden und somit einer Ödembildung entgegenwirken könnte. Potentielle psychophysiologische Einflussgrößen betreffen ein verringertes zentralnervöses Erregungsniveau, eine verstärkte parasympathische Aktivität und dadurch ein verbessertes Erholungs- und Wohlbefinden (Meyer et al., 2016; Wiewelhove et al., 2019).

REGman-Studien

In einem mehrstufigen Untersuchungsmodul zum Foam-Rolling wurde zunächst die aktuelle wissenschaftliche Studien- und Datenlage in einer systematischen Übersichtsarbeit mit Meta-Analyse zusammengefasst (Wiewelhove et al., 2019). Das Review konnte bestätigen, dass Foam-Rolling in einer kurzfristigen, moderaten Verbesserung der Beweglichkeit sowie in einer geringen Steigerung der Sprintleistung resultiert. Hinsichtlich regenerativ wirksamer Effekte scheint eine Reduktion des Muskelschmerz- und

somit Erholungsempfindens als gesichert (Abb. 6.3.2). Dies wird - wie die Erhöhung der Gelenkreichweite - hauptsächlich mit der durch Foam-Rolling bewirkten Schmerzmodulation erklärt (Aboodarda et al., 2015; Cavanaugh et al., 2017).

In einer zweiten REGman-Untersuchung wurde der Einfluss des Anpressdrucks auf die regenerative Wirksamkeit von Foam-Rolling überprüft. Im Crossover-Design und nach einem ermüdenden Krafttraining rollten die Sportler entweder mit mäßigem Druck (3 auf der zehnstufigen Schmerzskala), mit hohem Druck (7 von 10) oder gar nicht (passive Erholung). Der Anpressdruck wurde mittels eines Kraftaufnehmers in der Rolle kontrolliert.

Sowohl Anpressdruck als auch regeneratives Potential unterschieden sich zwischen den Bedingungen signifikant voneinander. Im Vergleich zur Kontrollbedingung resultierte Foam-Rolling mit mäßigem Anpressdruck in einer moderaten Herabsetzung des Muskelschmerzempfindens. Das Ausrollen mit hohem, schmerzhaftem Anpressdruck führte hingegen zu einer deutlichen Verschlechterung des Muskelkaters im Vergleich zur Kontrollbedingung. Dies spiegelte sich in der Kreatinkinase-Konzentration im Blut wider, die insbesondere 24 h nach Foam-Rolling mit hohem Anpressdruck deutlich angestiegen war. Ein sanftes Rollen ergab hingegen in dieser Studie erkennbare Vorteile (Abb. 6.3.3).

Individuelle Response

Die Untersuchung der individuellen Response auf Foam-Rolling sowie deren Reproduzierbarkeit erfolgte im experimentellen Hauptteil des Untersuchungsmoduls. Hierbei wurden die Erkenntnisse der Voruntersuchungen genutzt. So standen vor allem solche Ermüdungsmarker im Mittelpunkt der Untersuchung, die sich nachweislich durch Foam-Rolling beeinflussen lassen (v. a. das Muskelschmerzempfinden). Jeweils

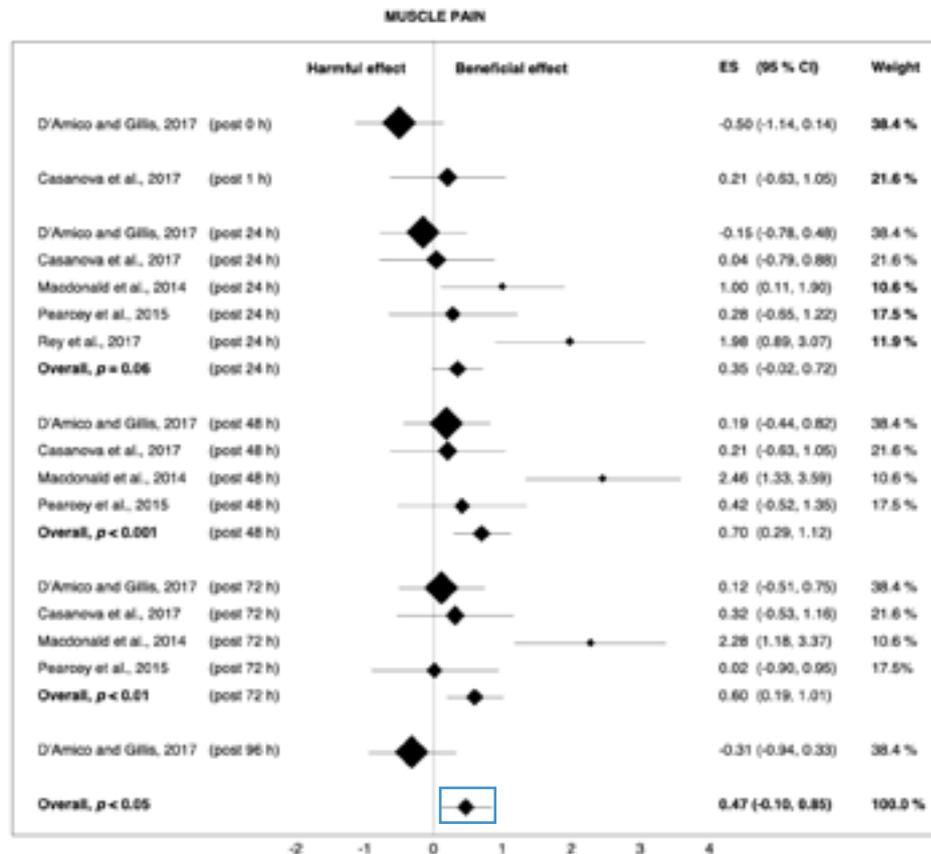


Abb. 6.3.2: Forest-Plot, der die Effekte von Foam-Rolling auf das Muskelschmerzempfinden zusammenfasst. Für jede Studie ist der Messzeitpunkt in Klammern angegeben. Die Studien sind nach aufsteigender Dauer zwischen Selbstmassage-Anwendung und Messzeitpunkt sortiert. Die Rechtecke repräsentieren die gewichteten Effektstärken und die Linien die 95-prozentigen Konfidenzintervalle. Die Größe der Rechtecke repräsentiert die Gewichtung der jeweiligen Studie. Der Gesamteffekt ist mit einem blauen Rahmen markiert (Wiewelhove et al., 2019, S. 12).

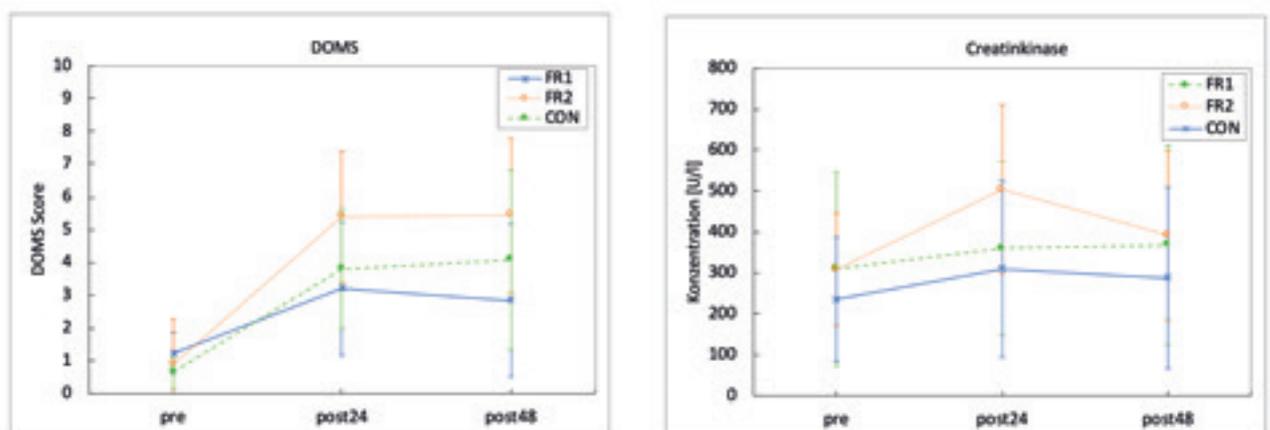


Abb. 6.3.3: Muskelschmerzempfinden (DOMS) und Kreatinkinase-Konzentration im Blut bei Foam-Rolling mit moderatem (FR3) und hohem (FR7) Schmerz im Vergleich zu keiner Foam-Rolling-Anwendung (CON) nach intensivem Krafttraining.

innerhalb von 48 h nach einem hochintensiven Wiederholungssprinttraining erholten sich insgesamt neun Athleten entweder passiv oder es wurde ihnen eine standardisierte Foam-Rolling-Intervention mit mäßigem Anpressdruck verabreicht. Der Erholungsverlauf wurde bis 48 h nach Belastungsende dokumentiert. Dieser Mikrozyklus wiederholte sich insgesamt drei Mal. In randomisierter Reihenfolge absolvierten die Probanden in zwei der drei Mikrozyklen eine identische Foam-Rolling Intervention, während ein Mikrozyklus mit passiver Erholung begleitet wurde.

Vier von neun Athleten zeigten jeweils 24 h nach der Belastung eine wiederholbare Response des Muskelschmerzempfindens. Drei Sportler (Subjects #1-3) profitierten beide Male in vergleichbarem Ausmaß von Foam-Rolling, während das Muskelschmerzempfinden bei einem Sportler (Subject #4) bei beiden Foam-Rolling-Anwendungen im Vergleich zur passiven Erholung so-

gar erhöht war. Alle anderen Athleten zeigten uneinheitliche und nicht wiederholbare Reaktionen auf die Regenerationsinterventionen (Abb. 6.3.4). Bezogen auf leistungsdiagnostische Ermüdungsmarker sowie Kreatinkinase-Konzentration im Blut war die Anzahl konstanter Responder sogar noch geringer. Zudem nahm die Zahl konstanter Responder im Erholungsverlauf bis zum Messzeitpunkt 48 h nach der Belastung kontinuierlich ab. Insgesamt ist die Wiederholbarkeit der individuellen Response auf Foam-Rolling gering.

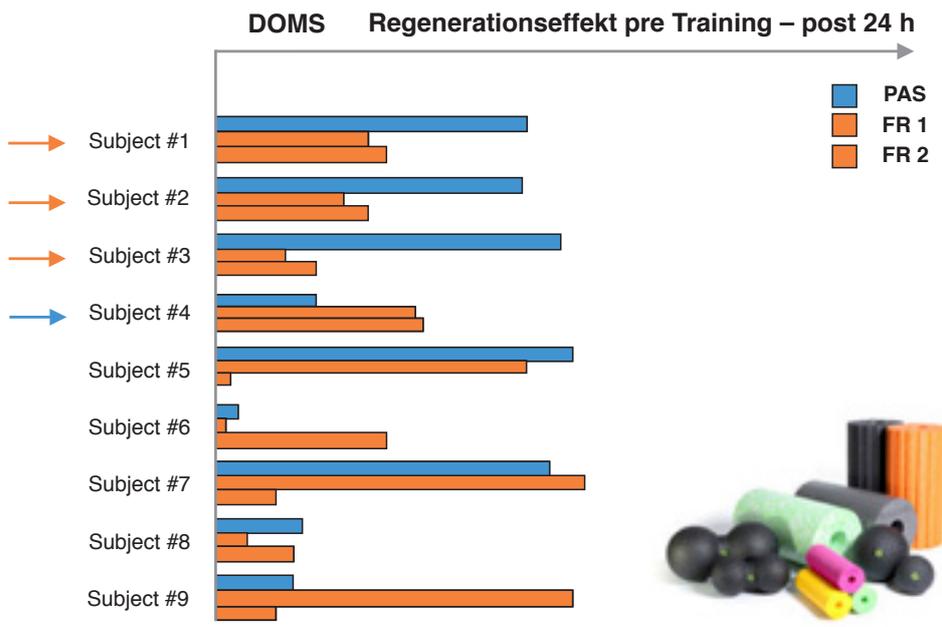


Abb. 6.3.4: Einfluss von Foam-Rolling (FR 1) im Vergleich zur passiven Erholung (CON) auf das Muskelschmerzempfinden (DOMS) und dessen Reproduzierbarkeit (FR 2). Die Balken repräsentieren die Größe des Anstiegs des Muskelkaters bis 24 Stunden nach der Belastung.

Handlungsempfehlungen für die Praxis

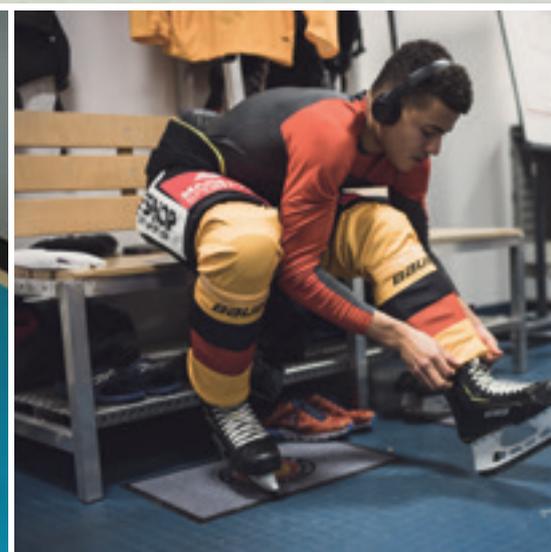
- › Im Mittel verbessert Selbstmassage durch Foam-Rolling kurzfristig die Beweglichkeit, ohne dabei die körperliche Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen. Außerdem hilft Foam-Rolling, das Muskelschmerzempfinden in der Belastungsnachbereitung zu reduzieren und somit das Wohlbefinden zu steigern, wenn mit moderatem, nahezu schmerzfreiem Druck gerollt wird. Allerdings gibt es keinen eindeutigen Nachweis für eine überdauernde Beschleunigung der Leistungswiederherstellung. Vor diesem Hintergrund ist der Einsatz von Foam-Rolling im Rahmen eines Warm-Ups möglicherweise sinnvoller als während der Regenerationsphase (Meyer et al., 2016; Wiewelhove et al., 2019). Zudem sollten mögliche nachteilige Nebenwirkungen von Foam-Rolling (z. B. Verstärkung des Muskelkaters und der zugrundeliegenden mikroskopisch kleinen Muskelverletzungen, wenn nach intensiver Muskeltätigkeit mit zu starkem und sehr schmerzhaftem Druck gerollt wird) berücksichtigt werden.
- › Individuelle Reaktionsmuster nach Foam-Rolling weisen darauf hin, dass sich positive Erholungsreaktionen in nur wenigen Fällen reproduzieren lassen. Der Einsatz von Foam-Rolling zur Regenerationsförderung ist somit im Einzelfall mit den Athleten zu klären. Hingegen empfiehlt es sich, Foam-Rolling zur kurzfristigen Regeneration und Schmerzlinderung (z. B. während eines Wettkampfs) oder im Rahmen der unmittelbaren Trainings- und Wettkampfvorbereitung einzusetzen.

Literatur

- Aboodarda, S., Spence, A. & Button, D. C. (2015). Pain pressure threshold of a muscle tender spot increases following local and non-local rolling massage. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 16, 265(1), 1-10.
- Cavanaugh, M. T., Döweling, A., Young, J. D., Quigley, P. J., Hodgson, D. D., Whitten, J. H. D., . . . Behm, D. G. (2017). An acute session of roller massage prolongs voluntary torque development and diminishes evoked pain. *European Journal of Applied Physiology*, 117(1), 109-117.
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Pfeifer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport - REGman - Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Monteiro, E. R., Vigotsky, A. D., Novaes, J. da S. & Škarabot, J. (2018). Acute effects of different anterior thigh self-massage on hip range-of-motion in trained men. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(1), 104-113.
- Phillips, J., Diggins, D., King, D. L. & Sforzo, G. A. (2018). Effect of varying self-myofascial release duration on subsequent athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print]. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002751>
- Wiewelshove, T., Döweling, A., Schneider, C., Hottenrott, L., Meyer, T., Kellmann, M., . . . Ferrauti, A. (2019). A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Frontiers in Physiology*, 10, 376. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00376>

7 Regenerationsbedürfnisse und Regenerationsmanagement in ausgewählten Sportarten

7



Quelle der Bilder zum Thema Eishockey: Dominic Pencz

7.1 Eishockey

Annika Hof zum Berge & Michael Kellmann

7.1



Foto Vorderseite: Bildquelle Dominic Pencz

Einen besonderen Aspekt für die Erforschung von Erholung und Beanspruchung spiegelt im REGman-Projekt die Sportart Eishockey wider. Als Sportart mit häufigem Körperkontakt, hochintensiven Belastungsphasen mit explosiven dynamischen Bewegungsabläufen und kurzen, intensiven Beschleunigungsphasen mit Tempo- und Richtungswechseln ist Eishockey durch eine hohe Komplexität von körperlichen, aber auch mentalen Belastungen (u.a. extrem schnelle Spielgeschwindigkeit, hohe Handlungsdichte und einhergehende Entscheidungsnotwendigkeit) gekennzeichnet (Lignell, Fransson, Krustrup & Mohr, 2018). Die individuelle Leistung der Sportlerinnen und Sportler hängt vor allem von der Schnelligkeit, der Kraft und der Beweglichkeit ab sowie der Fähigkeit die kurzen hochintensiven Belastungsphasen während eines Spiels zu wiederholen (Stanula, Rocznio, Maszczyk, Pietraszewski & Zajac, 2014).

Hinzu kommt, dass im Eishockey nur geringe Zeitabstände zwischen Spieltagen (während Turnieren bis zu fünf Spiele pro Woche) bestehen und so die Bereitstellung adäquater kurzfristig wirksamer Erholungsmaßnahmen einen entscheidenden Beitrag leisten kann. Dieser Sachverhalt wird durch die Doppelbelastung der Spielerinnen und Spieler (u. a. Ligaalltag, Nationalmannschaft) noch weiter verstärkt. Insgesamt ergibt sich dadurch eine hohe Dichte an relevanten und intensiven Spielen mit einhergehenden zusätzlichen Belastungen (z. B. Reisezeiten, Jetlag). Folglich entfällt häufig eine für die Wiederherstellung der physischen/mental Leistungsfähigkeit und das Auskurieren von möglichen Verletzungen ausreichend lange Pause (Kölling, Heidari, Pelka & Kellmann, 2019). Diesbezüglich ergeben sich auch Herausforderungen bei der Trainingsgestaltung bzw. Belastungs-Erholungssteuerung zwischen den Turnieren und Ligaspielen. Ein fehlendes Bewusstsein über die Bedeutsamkeit eines ausgeglichenen Erholungs-Beanspruchungsverhältnisses kann jedoch zu dysfunktionalen Verhaltensweisen (z. B. unangemessenes Zeitmanagement oder

exzessives Training) führen (Heidari, Kölling, Pelka & Kellmann, 2018). Daher sollte ein Monitoring substanzieller Bestandteil einer optimalen individualisierten Beratung sein.

Das REGman-Projekt

Infolgedessen wird innerhalb des REGman-Projektes ein Erholungs- und Beanspruchungsmonitoring (Athletenmonitoring) mit dem Deutschen Eishockey-Bund (DEB) durchgeführt. Dieses lässt sich in drei Phasen unterteilen, von denen bereits Phase I und II abgeschlossen sind. Die erste Phase diente der Beobachtung (November-Dezember 2018), die Sportler dokumentierten engmaschig mit Hilfe ausgewählter Parameter des Methodeninventars ihren Erholungs-Beanspruchungs-Zustand, ihren Schlaf, und ihre individuell genutzten Regenerationsstrategien (s. Abb. 7.1.1).



Abb. 7.1.1: Dokumentation des Erholungs- und Beanspruchungszustandes unmittelbar nach dem Training.

Tab. 7.1.1: Übersicht über die genutzten Messinstrumente in Projektphase I.

| Fragebogen | Trainingslager | Weltmeisterschaft |
|--|---|----------------------------|
| EBF-Sport (Kellmann & Kallus, 2016) PSQI (Buysse, Reynolds, Monk, Berman & Kupfer, 1989) ESS (Johns, 1991) | Prä-Messung (Tag 1) und Post-Messung (Tag 10, Ende der Vorbereitung) | - |
| KEB (Kellmann, Kölling & Hitzschke, 2016) | Täglich morgens, abends, sowie vor und nach jedem Training und der Mittagspause | Täglich morgens und abends |
| Morgen-Abendprotokoll (Hoffmann, Müller, Hajak & Cassel, 1997) | Täglich morgens und abends | Täglich morgens und abends |
| Individuell genutzte Erholungsstrategien | Täglich nach der Mittagspause | |

Anmerkung. EBF-Sport = Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler, PSQI = Pittsburgh Sleep Quality Index, ESS = Epworth Sleepiness Scale, KEB = Kurzsкала Erholung und Beanspruchung.

Zu diesem Zweck wurden zunächst 27 männliche Mitglieder der Junioren-Nationalmannschaft (davon 23 auch Teil des WM-Kaders) während des Vorbereitungstrainingslagers und der Weltmeisterschaft der Division IA in Füssen systematisch begleitet. Eine Übersicht der genutzten Messinstrumente lässt sich dabei aus Tabelle 7.1.1 entnehmen.

Nach einer Rückmeldung (Phase II, Januar und Juli 2019) der Datenauswertung an die Athleten und Bundestrainer wurden weitergehende Empfehlungen für eine Veränderung der Regenerationsstrategien gegeben, die im Training getestet und anschließend im Wettkampf realisiert werden sollen. Diese Interventionen sind athletenspezifisch.

Die Implementierung der (nun veränderten) Regenerationsstrategien soll planmäßig in einem dritten Schritt erneut begleitet werden (Phase III, Dezember 2019), um auf der intraindividuellen Ebene Veränderungen zu dokumentieren und ggf. weitere Anpassungen vorzunehmen (z. B. individuelle Anpassung der Schlafdauer nach einer Erhebung mit Hilfe von portabler Polysomnographie, in Anlehnung an Kapitel 5.3).

REGman-Befunde

Zu Beginn der ersten Projektphase (Prä-Messung Trainingslager) ließen sich bei einer Vielzahl an Spielern überaus hohe Beanspruchungswerte im Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler (Kellmann & Kallus, 2016) feststellen (s. Abb. 7.1.2), die sich vor allem durch Reiseumstände (z. B. Jetlag) und Vorbeanspruchungen beim Heimatverein erklären lassen. Im Gruppenmittelwert zeigt sich dies unter anderem in der Skala der Übermüdung. Die Bedeutung der WM-Vorbereitung wird insbesondere durch die Betrachtung der Vorher-Nachher-Werte unterstrichen. Hierbei lässt sich erkennen, dass mit Ausnahme der Verletzungsanfälligkeit alle Erholungswerte steigen und Beanspruchungswerte gleichzeitig sinken und sich somit eine deutlich günstigere Erholungs-Beanspruchungsbilanz zu Beginn der WM einstellte.

Über den Zeitraum der ersten Erhebungsphase hinweg zeigte die Mannschaft insgesamt ein überaus hohes Maß an Professionalität und Disziplin, das sich auch im Erholungsmanagement widerspiegelte. Angebotene und bekannte Regenerationsmaßnahmen wurden gut

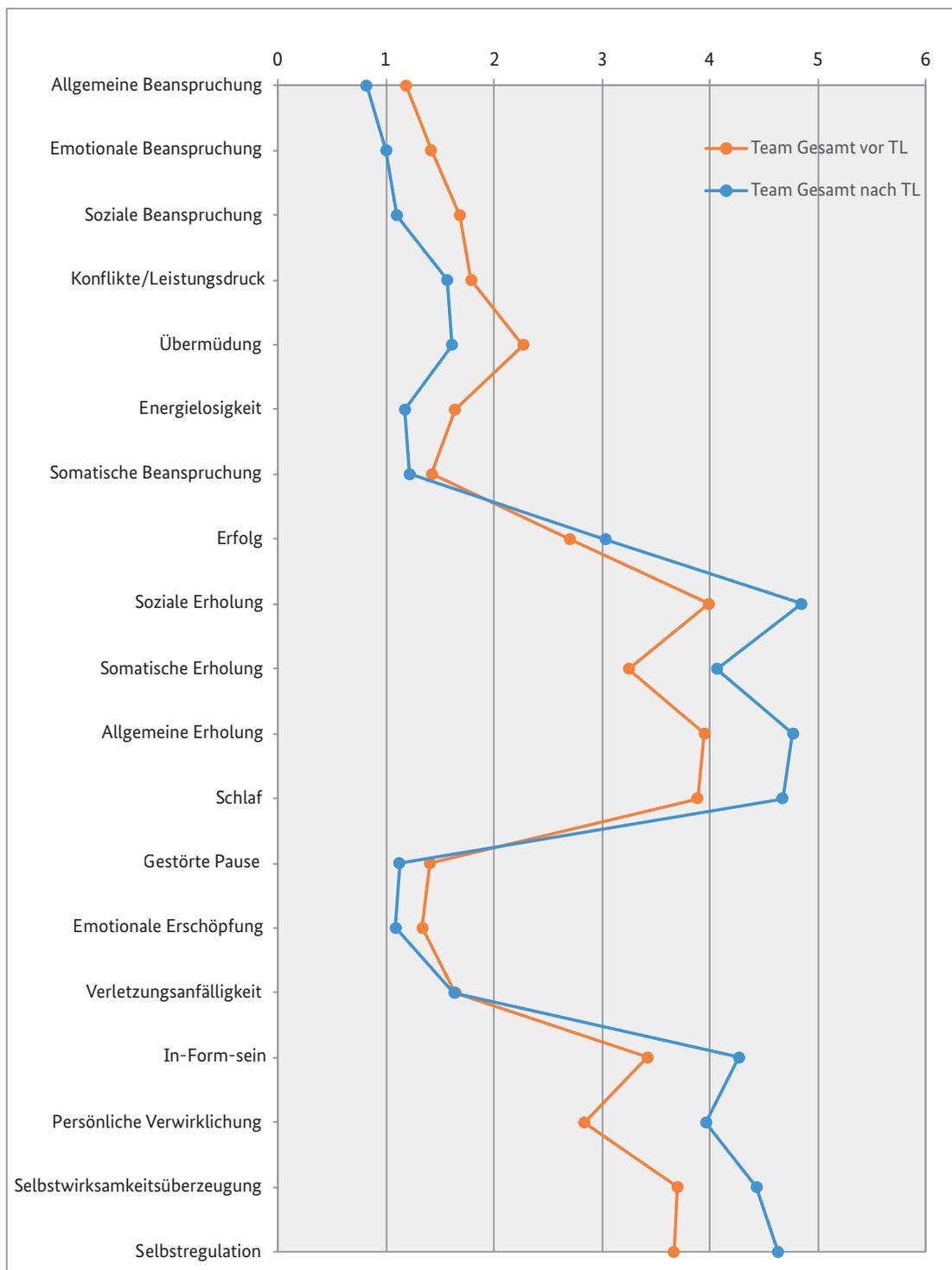


Abb. 7.1.2: Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler (Kellmann & Kallus, 2016) vor und nach dem Trainingslager.

Anmerkung. TL = Trainingslager. Die Datenpunkte beziehen sich auf die Gesamtmittelwerte zu Trainingslagerbeginn (n = 26) und nach Trainingslagerende (n = 2).

Tab. 7.1.2: Werte der Schlafragebögen des Gesamtteams.

| Fragebogen | Vor Trainingslager | Nach Trainingslager |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|
| Pittsburgh-Sleep-Quality-Index | 5,0 (± 2,2) | 4,7 (± 2,5) |
| Epworth-Sleepiness-Scale | 9,2 (± 3,7) | 9,0 (± 3,6) |

Anmerkung. Die jeweiligen Werte beziehen sich auf die Gesamtmittelwerte aller Spieler, die sowohl vor Trainingslagerbeginn als auch nach Trainingslagerende anwesend waren (n = 22) ± eine Standardabweichung. Der Pittsburgh Sleep Quality Index ist ein Fragebogen zur Erfassung der Schlafqualität, der die Einteilung in „gute“ und „schlechte“ Schläfer erlaubt (vgl. Kapitel 5.3). Der Cut-Off-Wert liegt hierbei bei einem Wert von 5 (Buysse et al., 1989). Die Epworth Sleepiness Scale (Johns, 1991) ist ein Kurzfragebogen zur Erfassung der Tagesschläfrigkeit. Der Mittelwert bei Athleten liegt bei 5,7 ± 3,4 (Driller, Mah & Halson, 2018).

angenommen und nach Bedarf genutzt (z. B. Physiotherapie, Kaltwasserimmersion, Foam Rolling, Kompressionstrümpfe), so dass erkennbare akute körperlich-muskuläre Belastungen schnell aufgefangen werden konnten (KEB; vgl. Kapitel 5). Die emotionalen Erholungs- und Beanspruchungswerte der KEB blieben dabei weitestgehend konstant. Innerhalb des Teams zeigten sich große interindividuelle Unterschiede in der Wahl von individuellen Regenerationsmaßnahmen. Erwartungskonform schienen erfahrenere Spieler (u.a. durch Auslandseinsätze, Einsätze im Profibereich) deutlich häufiger selbständig Regenerationsmaßnahmen durchzuführen, während unerfahrenere Spieler (insbesondere Spieler deutscher Jugendmannschaften) eher Gruppenangebote wahrnahmen.

Bei der Untersuchung individuell angewendeter Regenerationsstrategien kristallisierten sich neben der Essens- und Flüssigkeitsaufnahme insbesondere Musik und Power Naps als häufig genutzte Methoden heraus. Musik schien hierbei in der Mannschaftskabine sowie im Teamhotel ein „ständiger Begleiter“ zu sein, sowohl im Kollektiv als auch individuell genutzt. Individuell anwendbare-psychologische Entspannungsverfahren (z. B. Atemregulation, Meditation, Progressive Muskelrelaxation) kamen kaum bis gar nicht zum Einsatz, oder wurden nicht als sol-

che erkannt (z. B. Debriefing). Die Mittagspause wurde zudem von der Mehrheit der Spieler auch für das Spielen von Videospiele (z. B. FIFA) genutzt. Weitere Untersuchungen sollten diese Tätigkeit bei der Abfrage einschließen, um den Einfluss auf die Regeneration (u.a. soziale Erholung, mentale Beanspruchung) zu überprüfen.

Bei der Betrachtung des Tagesschlafes ließ sich eine heterogene Verteilung erkennen. Im Mittel tendierten die Spieler eher zu einem Splayed-Sleep-Schedule (einem verlängerten Mittagschlaf zum Ausgleich von reduziertem Nachtschlaf, u.a. durch verlängerte Einschlafzeiten) statt kürzeren Power Naps (< 30 Minuten). Der Bedarf für längere Schlafperioden während des Tages lässt sich auch in den Werten der Tagesschläfrigkeit erkennen, die auch im Gesamtmittelwert, zu beiden Messzeitpunkten über den üblichen Referenzwerten liegen (Tab. 7.1.2). Die allgemeine Schlafqualität (PSQI) verbesserte sich im Mittel jedoch während des Trainingslagers leicht.

Die Dauer des Nachtschlafes zeigt sich zu Beginn des Trainingslagers steigend, auch bedingt durch eine Reduktion der Einschlafzeit. Dies lässt sich höchstwahrscheinlich auf eine Anpassung an die ungewohnte Schlafatmosphäre (Hotel + Zimmernachbar) zurückführen. Ein-

brüche in der Schlafdauer lassen sich vor allem am Abend nach dem freien Tag und am Abend des Spiels gegen Weißrussland (Spielbeginn erst um 20 Uhr) erkennen. Zu beiden Zeitpunkten liegen auch längere Einschlafzeiten vor. Die all-

gemeine Einschlafdauer scheint zudem in Zusammenhang mit bevorstehenden und vergangenen prägenden WM-Zeitpunkten zu stehen (z. B. erstes WM-Spiel, Spiel gegen den Angstgegner Weißrussland).

Handlungsempfehlungen für die Praxis

In Bezug auf die Beobachtungspunkte und mit Einbezug der bisherigen Forschungsgrundlagen (vgl. Kapitel 5.3; Meyer, Ferrauti, Kellmann & Pfeiffer, 2016) lassen sich folgende Handlungsempfehlungen für die Praxis ableiten:

- › Bei ungünstigen Erholung-Beanspruchungs-Bilanzen zu Beginn eines Trainingslagers (z. B. durch Anreisen aus Nordamerika) ist eine erholungsfördernde Vorbereitung und Akklimatisierung dringend anzuraten. Demzufolge sollte die Länge eines Trainingslagers dem Erholungsdefizit angepasst werden.
- › Fachlich ausgearbeitete Informationen zur Bedeutung des Mittagschlafes und Unterschieden von Power Naps und Splitted-Sleep-Schedules könnten zu einer Reduzierung der Tagesschläfrigkeit beitragen.
- › Schlafedukation und das Einüben von Schlafhygieneregeln stellen erste Interventionsmöglichkeiten da, die zu einer Verbesserung des Nachtschlafes führen könnten.
- › Die Einübung von psychologischen Entspannungsverfahren könnte (gerade für unerfahrene) Spieler ein wirksames Tool darstellen, um kurze Regenerationsphasen effizient nutzen zu können.
- › Erholungsmaßnahmen in der Gruppe (z. B. Stretching) können sowohl zum Teamgefühl beitragen als auch unerfahrene Spieler an die Erholungsthematik heranführen.

Referenzen

- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R. & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28(2), 193-213.
- Driller, M. W., Mah, C. D. & Halson, S. (2018). Development of the Athlete Sleep Behavior Questionnaire: A tool for identifying maladaptive sleep practices in elite athletes. *Sleep Science*, 11(1), 37-44.
- Heidari, J., Kölling, S., Pelka, M. & Kellmann, M. (2018). Monitoring the recovery-stress state in athletes. In M. Kellmann & J. Beckmann (Hrsg.), *Sport, recovery, and performance: Interdisciplinary insights* (S. 3-18). Abingdon: Routledge.
- Hoffmann, R. M., Müller, T., Hajak, G. & Cassel, W. (1997). Abend-Morgenprotokolle in Schlaf-forschung und Schlafmedizin—Ein Standardinstrument für den deutschsprachigen Raum. *Somnologie*, 1(3), 103-109.
- Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep*, 14(6), 540-545.
- Kellmann, M. & Kallus, K. W. (2016). The Recovery-Stress Questionnaire for Athletes. In K. W. Kallus & M. Kellmann (Eds.), *The Recovery-Stress Questionnaires: User manual* (pp. 86-131). Frankfurt am Main: Pearson Assessment & Information GmbH.
- Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (2016). *Das Akutmaß und die Kurzskala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport*: Manual. Hellenthal: Sportverl. Strauß.
- Kölling, S., Heidari, J., Pelka, M. & Kellmann, M. (2019). Erholungs- und Belastungssteuerung. In K. Staufenbiel, M. Liesenfeld & B. Lobinger (Hrsg.), *Angewandte Sportpsychologie für den Leistungssport* (S. 188-203). Göttingen: Hogrefe.
- Lignell, E., Fransson, D., Krustrup, P. & Mohr, M. (2018). Analysis of high-intensity skating in top-class ice hockey match-play in relation to training status and muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1303-1310.
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport: REGman - Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Stanula, A., Roczniok, R., Maszczyk, A., Pietraszewski, P. & Zajac, A. (2014). The role of aerobic capacity in high-intensity intermittent efforts in ice-hockey. *Biology of Sport*, 31(3), 193-199.

7.2 Tennis

Thimo Wiewelhove & Alexander Ferrauti

7.2



In den vergangenen 20 bis 30 Jahren hat sich der Tennissport insbesondere auf höchster Leistungsebene deutlich in Richtung einer schnellkraft-, schnelligkeits- und ausdauerdominierenden Sportart entwickelt. (Kraemer, Flanagan & Thomas, 2010). Als leistungssensitive Faktoren gewinnen dabei die konditionellen Leistungsvoraussetzungen der Spitzenspieler immer mehr an Bedeutung (Ferrauti, Fett, Vuong & Ulbricht, 2019). Auch Weiterentwicklungen von Schläger- und Ausrüstungstechnologien unterstützen diesen Trend. Gleichzeitig verdichten sich die Signale, dass physische und psychische Überlastungssyndrome bei Leistungstennisspielern zunehmen. Die Anzahl an verletzungsbedingten Aufgaben bzw. Absagen speziell bei den Grand-Slam-Turnieren steigt aktuell stetig an (Ferrauti, Maier & Weber, 2016). Einige der besten deutschen Nachwuchsspielerinnen und -spieler erreichen bereits Belastungsumfänge von im Mittel 15,5 h pro Woche. Die hohen Anforderungen an die Strukturen des aktiven und passiven Bewegungsapparats, die zur Erreichung von Spitzenleistungen notwendigen Trainingsumfänge sowie der dichte Turnierkalender – renommierte Spieler fordern schon seit längerem eine Verschlankung – erfordern somit ein differenziertes, an die Bedürfnisse des Tennisspielers und die Anforderungen des Tennissports angepasstes Regenerationsmanagement.

Regenerationsbedarf im Tennis

Aufgrund der komplexen und einzigartigen Anforderungsstruktur im Tennis geht es bereits nach jedem einzelnen Punkt um eine bestmögliche Regeneration, um u. a. das verbrauchte Kreatinphosphat rasch zu resynthetisieren und/oder einen leichtfertig vergebenen Punktgewinn psychisch zu „verdauen“. Die Seitenwechselferien können zur Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit genutzt werden, indem u. a.

Flüssigkeitsverluste kompensiert und sich leerende Kohlenhydratspeicher aufgefüllt sowie psychoregulative Maßnahmen eingesetzt werden. Nach einem intensiven Match oder Training steht schließlich die Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit im Vordergrund, indem physiologische Ermüdungssymptome (z. B. Muskelkater) gelindert und Reparaturprozesse unterstützt werden. Dies ist vor allem in Turnierphasen relevant, da aufgrund der engen Folge von Matches im Turnierverlauf meist schon am nächsten Tag das nächste Turniermatch bevorsteht.

Zu den regenerationsbedürftigen Anforderungen im Tennis zählen unter anderem folgende:

- Physiologische Anforderungen (z. B. wiederholte schnellkräftige dynamisch-exzentrische Muskelbeanspruchungen, die zu Muskelkater führen)
- Neurologische Anforderungen (z. B. hohe motorische Präzisionsanforderungen bei schnellkräftigen Bewegungen, die in Stress- bzw. Drucksituationen realisiert werden müssen)
- Thermoregulatorische Anforderungen (z. B. Entleerung der Kohlenhydratspeicher speziell während langer Matches von mehr als zwei Stunden, Dehydrierung bei heißen und teils feuchten Umgebungsbedingungen)
- Anforderungen an die Energiebereitstellung (z. B. Entleerung der Kohlenhydratspeicher speziell während langer Matches von mehr als zwei Stunden, Dehydrierung bei heißen und teils feuchten Umgebungsbedingungen)
- Psychologische Anforderungen (z. B. Wettkampfangst, sozialer/medialer Druck)

(Kraemer et al., 2010). Der Ausprägungsgrad der jeweiligen Anforderungen wird dabei durch die Belastungscharakteristika des Tennistrainings oder -wettkampfs bestimmt (d. h. Dauer und Intensität, Belastungs-Erholungs-Verhältnis, Spielbelag, Spieltyp, klimatische Umgebungsbedingungen, usw.) (Fernandez-Fernandez, Mendez-Villanueva & Pluim, 2006).

Regenerationsverfahren im Tennis - Studienlage

Die besonderen organisatorischen Rahmenbedingungen im Tennis ermöglichen den Einsatz von Regenerationsinterventionen sowohl während des Wettkampfs (z. B. Kühlstrategien, Kohlenhydrat- und Flüssigkeitszufuhr) als auch in den Erholungsphasen im Anschluss an ein Tennismatch. Die Herausforderung für Tennisspieler und -trainer besteht dabei darin, die jeweiligen Ermüdungssymptome zu erkennen und anschließend geeignete Regenerationsmaßnahmen (z. B. Kohlenhydratzufuhr zur Wiederauffüllung der Glykogenspeicher, Kaltwasserimmersion bei mechanisch bedingten Mikrotraumata der Skelettmuskulatur, psychologische Maßnahmen bei psychologisch bedingten Ermüdungserscheinungen) entweder einzeln oder kombiniert (z. B. Kaltwasserimmersion kombiniert mit anschließendem Tragen von Kompressionskleidung) anzuwenden. Die wissenschaftliche Evidenz zur Wirksamkeit von Regenerationsverfahren im Tennis ist jedoch bislang nicht überzeugend gegeben, was insbesondere auf die geringe Anzahl an Studien mit tennisspezifischen Ermüdungsprotokollen zurückzuführen ist.

Unbestritten ist die Bedeutung einer angemessenen Nahrungs- und Flüssigkeitszufuhr. Hierbei steht vor allem die Aufnahme von Wasser, Kohlenhydraten und Elektrolyten im Vordergrund, da hierdurch dem Verlust an Flüssigkeit und

Mineralstoffen (Schweiß) sowie dem erhöhten Energiebedarf am effizientesten begegnet werden kann. In diesem Zusammenhang haben Brink-Elfegoun et al. (2014) untersucht, inwieweit die belastungsbegleitende Aufnahme von Sportgetränken die Leistungsfähigkeit von Tennisspielern im Verlauf eines Turniers beeinflusst. Sie stellten fest, dass eine isotonische Lösung, die unter anderem Glucose, Fructose und Magnesium enthielt, den ermüdungsbedingten Abfall der Kraftleistung im Vergleich zu einer Placebogabe kaum verringerte. Allerdings unterstützte eine regelmäßige und ausreichende Flüssigkeits- und Nährstoffzufuhr die Aufrechterhaltung der Gesamtleistung im Verlauf des Turniers. In einer ähnlichen Studie erhöhte die belastungsbegleitende Aufnahme von kohlenhydrat- und elektrolythaltigen Getränken im Vergleich zu einer Placebogabe die realisierten Matchintensitäten im Verlauf eines dreitägigen Tennisturniers – die Spieler erreichten höhere Schlag- und Herzfrequenzen – während sich gleichzeitig die subjektiv empfundene Beanspruchung reduzierte (Peltier et al., 2013). Ferner konnten Gomes et al. (2014) nachweisen, dass sich durch eine gezielte Kohlenhydratsupplementation während eines Tennismatches der Blutzuckerspiegel stabilisieren und die Aktivität von Stresshormonen (Cortisol) verringern lässt. In einer weiteren Studie zeigten Gomes et al. (2013) aber auch, dass sich die positiven physiologischen und perzeptiven Effekte einer matchbegleitenden Kohlenhydrat- und Elektrolytsupplementation nicht in einer messbaren Verbesserung der Spielleistung manifestierte.

Da Tennisprofis ihre Wettkämpfe fast ganzjährig in Regionen mit besonderen klimatischen Bedingungen wie hohe Lufttemperatur und hohe Luftfeuchtigkeit bestreiten, wird immer häufiger auf Kühlstrategien zurückgegriffen, die die negativen Auswirkungen des Hitzestresses auf die sportliche Leistungsfähigkeit reduzieren sollen. Vor allem nasse und mit Eis gefüllte Handtücher, Kühlpads und/oder eisgekühlte Getränke sind beliebte und vielfach verwendete

Hilfsmittel, die sowohl vor (Precooling) als auch während (Percooling) des Tennismatches zum Einsatz kommen. Precooling scheint allerdings keinerlei Einfluss auf Leistungsfähigkeit oder physiologische Hitzestressmarker im Tennis zu haben. In einer Untersuchung von Duffield, Bird und Ballard (2011) verringerte sich lediglich der subjektiv empfundenen Hitzestress zu Beginn der Tennisbelastung. Dies könnte sich zwar kurzfristig positiv auf die Belastungstoleranz bei sportlicher Aktivität unter Hitzebedingungen auswirken. Die einmalige Anwendung einer Kühlmaßnahme vor einem Tennismatch besitzt aber wohl insgesamt keinerlei überdauernde Effekte. Andererseits konnten Schraner et al. (2017) zeigen, dass sowohl das Anlegen eisgefüllter Handtücher als auch die regelmäßige Befeuchtung der Haut im Bereich der Arme, des Nackens und des Gesichts beim Sitzen vor einem Ventilator Hitzeverträglichkeit und Wohlbefinden positiv beeinflussen. Die Kühlmaßnahmen wurden wiederholt in den Seitenwechselfasen während eines simulierten Vier-Satz-Matches unter Hitzebedingungen angewendet. Ähnliche Effekte lassen sich bei individualisierten Hydrationsstrategien mit eisgekühlten Getränken (u. a. Eisbrei, engl. Ice Slurry) beobachten (Naito et al., 2018; Périard et al., 2014). Allerdings verlangsamte keine der genannten Strategien die ermüdungs- bzw. hitzebedingte Abnahme der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Eine Befragung von Tennisspielern ergab, dass in den Regenerationsphasen im Anschluss an ein Tennismatch oder Tennistraining am häufigsten auf aktive Erholungsstrategien sowie Massage, Kaltwasserimmersion und/oder progressive Muskelentspannung zurückgegriffen wird (Meyer, Ferrauti, Kellmann & Pfeiffer, 2016). Deren regenerative Wirkungen nach tennisspezifischen Ermüdungsprotokollen wurden aber bislang nur von wenigen Studien überprüft. In einer Untersuchung von Duffield, Murphy, Kellett und Reid (2014) erhöhte ein kombiniertes Regenerationsprogramm (15 min Kalt-

wasserimmersion bei 10°C Wassertemperatur sowie 3-4-stündiges Tragen von Kompressionskleidung) nach einem intensiven on-court Tennistraining die Leistungsfähigkeit in den folgenden Trainingseinheiten und reduzierte die Entstehung von Muskelkater. Muskel- und Gelenkschmerzen konnten außerdem durch schlafhygienische Maßnahmen gelindert werden. Ziemann et al. (2012) überprüften ebenfalls die Wirksamkeit eines kombinierten Regenerationsprogramms (Ganzkörperkryotherapie bei -120°C sowie niedrigintensives Training), das den Tennisspielern mehrfach über fünf Tage hinweg nach einer ermüdenden Turnierphase verabreicht wurde. Im Vergleich zu niedrigintensiver Aktivität ohne Kryotherapie verminderten sich durch die ergänzende Anwendung der Kälteapplikation Entzündungs- und hormonelle Stressreaktionen.

REGman-Befunde

Inwieweit Percooling einen Einfluss auf tennisspezifische Leistungsfähigkeit, physiologische Reaktionen, Wohlbefinden und Leistungsbereitschaft hat, wurde im REGman-Projekt und in Kooperation mit dem australischen Tennisverband untersucht. Die Studie fand bei extremer Hitzeexposition in Brisbane zwei Wochen vor den Australian Open und im Verlauf des Vorbereitungsturniers „Brisbane International“ statt.



Abb. 7.2.1: Kühlmaßnahmen während der Seitenwechselfasen im Tennis.

Tab. 7.2.1: Einfluss von Percooling auf Leistungsfähigkeit, physiologische Reaktionen sowie Belastungs-, Erholungs- und Hitzestressempfinden im Tennis unter Hitzebedingungen.

| Parameter | COL | | KON | | Unterschiede zwischen COL und KON | | | |
|--|-------|------|-------|------|-----------------------------------|------|-------|-------|
| | M | SD | M | SD | M | SD | p | ES |
| Aufschlaggeschwindigkeit (km/h) | 167,4 | 7,3 | 165,8 | 6,4 | 1,6 | 4,6 | 0,368 | 0,23 |
| Standweitsprung (cm) | 221,9 | 16,3 | 227,0 | 15,4 | -5,1 | 8,9 | 0,148 | -0,31 |
| Asse (n) | 2,8 | 2,6 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 3,6 | 0,357 | 0,71 |
| Doppelfehler (n) | 1,5 | 1,0 | 1,2 | 1,2 | 0,3 | 1,4 | 0,576 | 0,27 |
| Service-Winners (n) | 2,7 | 1,5 | 3,2 | 1,5 | -0,5 | 2,5 | 0,646 | -0,33 |
| Gewinnschläge (n) | 7,0 | 3,2 | 5,7 | 2,5 | 1,3 | 2,8 | 0,297 | 0,45 |
| Unerzwungene Fehler (n) | 18,8 | 6,4 | 17,3 | 5,4 | 1,5 | 9,6 | 0,719 | 0,25 |
| First Serve in (%) | 56,6 | 11,7 | 63,8 | 9,2 | -7,1 | 15,9 | 0,322 | -0,68 |
| Second Serve in (%) | 87,2 | 11,3 | 88,1 | 10,3 | -0,9 | 11,2 | 0,853 | -0,08 |
| First Serve gewonnene Punkte (%) | 70,9 | 6,5 | 73,0 | 11,5 | -2,1 | 11,9 | 0,683 | -0,22 |
| Second Serve gewonnene Punkte (%) | 55,1 | 4,1 | 50,8 | 6,7 | 4,3 | 9,0 | 0,296 | 0,77 |
| Gewonnene Punkte (n) | 31,2 | 8,4 | 31,8 | 9,7 | -0,6 | 3,3 | 0,638 | -0,07 |
| Mittlere Belastungsherzfrequenz (S/min) | 170,5 | 11,8 | 172,7 | 11,3 | -2,2 | 4,4 | 0,239 | -0,19 |
| Maximale Belastungsherzfrequenz (S/min) | 185,1 | 8,0 | 187,3 | 8,1 | -2,2 | 3,3 | 0,121 | -0,28 |
| Mittlere Erholungsherzfrequenz (S/min) | 127,1 | 9,7 | 132,4 | 7,3 | -5,3 | 6,7 | 0,081 | -0,50 |
| Niedrigste Erholungsherzfrequenz (S/min) | 106,2 | 9,0 | 112,1 | 8,3 | -5,9 | 8,8 | 0,124 | -0,68 |
| Blutlaktatkonzentration (mmol/l) | 3,0 | 0,8 | 2,9 | 0,8 | 0,1 | 0,3 | 0,288 | 0,35 |
| Ohrtemperatur (°C) | 37,0 | 0,4 | 37,2 | 0,6 | -0,2 | 0,6 | 0,388 | -0,46 |
| Lokale Hauttemperatur (°C) | 29,6 | 1,7 | 31,3 | 1,4 | -1,7 | 2,2 | 0,070 | -1,15 |
| Schweißverlust (kg) | 1,4 | 0,6 | 1,9 | 0,9 | -0,5 | 1,2 | 0,408 | -0,65 |
| Belastungsempfinden (6-20) | 15,2 | 0,6 | 15,3 | 0,8 | -0,1 | 1,0 | 0,757 | 0,22 |
| Kurzfristiges Erholungsempfinden (6-20) | 15,4 | 1,3 | 14,5 | 2,1 | 0,9 | 2,1 | 0,281 | 0,48 |
| Empfundener Hitzestress (0-10) | 3,0 | 0,7 | 4,3 | 1,9 | 1,3 | 1,9 | 0,109 | 0,85 |
| Mittelfristiges Erholungsempfinden (0-6) | 3,4 | 1,2 | 2,6 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,029 | 0,75 |
| Stressempfinden (0-6) | 2,8 | 1,3 | 3,4 | 1,1 | -0,7 | 1,0 | 0,092 | -0,58 |

COL, Percooling; KON, Kontrollintervention; M, Mittelwert; SD, Standardabweichung; ES, Effektstärke

Acht Tennisspieler der nationalen Klasse absolvierten an zwei Tagen jeweils ein mehrstündiges standardisiertes Tennismatch. Im Cross-Over-Design und während der Seitenwechselferien wurden jeweils einem der beiden Kontrahenten mit Eis gefüllte Handtücher auf Schulter und Oberschenkel gelegt sowie eiskalte Getränke gereicht während er vor einem Ventilator saß (Abb. 7.3.1). Der Gegner durfte sich lediglich im Schatten aufhalten sowie ungekühltes Wasser zu sich nehmen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die intermittierend eingesetzten Kühlmaßnahmen während der Seitenwechselferien weder Einfluss auf die Spielleistung noch auf thermoregulatorische Parameter besaßen (Tab. 7.3.1). Allerdings wurde

die Herzfrequenzerholung während der Seitenwechselferien durch die Verwendung der Kühlmittel geringfügig beschleunigt. Überdies verbesserte sich das Erholungsempfinden – jeweils am Ende der Seitenwechselferien und am Ende des Matches – sowie der subjektiv bewertete Hitzestress.

In einer zweiten Studie wurde untersucht, inwieweit sich eine kombinierte Nutzung von typischen, im Tennis verwendeten Erholungsmaßnahmen, auf die allgemeine und tennispezifische Leistungsfähigkeit sowie auf Ermüdungsmarker während eines simulierten Preisgeldturniers auswirkt. Neun Tennisspieler der nationalen Klasse absolvierten jeweils zweimal fünf zweieinhalbstündige, standardisierte



Abb. 7.2.2: Komplexe Regenerationsprogramm (d. h. Auslaufen, Stretching, Kaltwasserimmersion, Duschbad, Massage) während und nach einem fünftägigen Tennisturnier.

Tab. 7.2.2: Einfluss eines komplexen Regenerationsprogramms auf Belastungsreaktionen und Leistungsfähigkeit in einem simulierten Tennisturnier.

| Parameter | Komplexes Regenerationsprogramm | | Passive Erholung | | p | ES |
|---|---------------------------------|------|------------------|------|------|------|
| | M | SD | M | SD | | |
| Mittlere Blutlaktatkonzentration (mmol/l) | 2,26 | 0,78 | 2,45 | 0,94 | 0,42 | 0,23 |
| Mittlere Belastungsherzfrequenz (S/min) | 142 | 13 | 146 | 14 | 0,12 | 0,27 |
| Belastungsempfinden (6-20) | 5,3 | 0,9 | 5,1 | 1,4 | 0,63 | 0,14 |
| Laufdistanz pro Match (m) | 2526 | 1061 | 2558 | 1068 | 0,92 | 0,03 |
| Sprints pro Match (n) | 98 | 51 | 119 | 68 | 0,27 | 0,49 |
| Sprintdistanz pro Match (m) | 273 | 139 | 321 | 158 | 0,24 | 0,32 |
| Gewonnene Punkte (n) | 99 | 26 | 96 | 19 | 0,73 | 0,13 |
| Asse (n) | 4,1 | 4,0 | 3,3 | 2,3 | 0,52 | 0,24 |
| Doppelfehler (n) | 4,9 | 3,6 | 4,1 | 3,7 | 0,30 | 0,22 |
| Gewinnschläge (n) | 27 | 13 | 25 | 13 | 0,96 | 0,01 |
| Unerzwungene Fehler (n) | 63 | 13 | 63 | 19 | 0,54 | 0,15 |

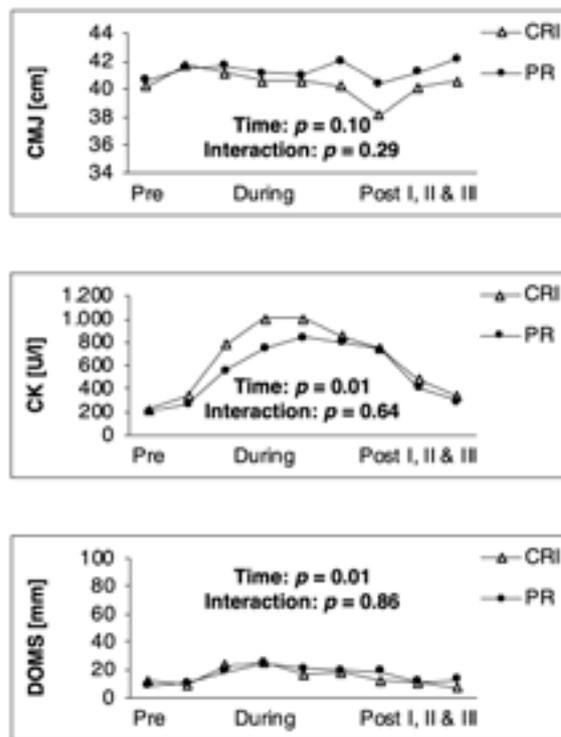


Abb. 7.2.3: Einfluss eines komplexen Regenerationsprogramms auf Sprungleistung (CMJ), Kreatinkinasekonzentration im Blut (CK) und Muskelschmerzempfinden (DOMS) vor, während und nach einem simulierten Tennisturnier. KR, komplexes Regenerationsprogramm; PE, passive Erholung

Matches an fünf aufeinanderfolgenden Tagen. Im Cross-Over-Design und im Anschluss an jedes Match sowie an den ersten drei Tagen nach dem Turnier erfolgte dann entweder das komplexe Regenerationsprogramm (d. h. Auslaufen, Stretching, Kaltwasserimmersion, Duschbad, Massage) (Abb. 7.3.2) oder passive Erholung.

Im Mittel hatte die kombinierte Regenerationsintervention weder Einfluss auf die Leistungs-

fähigkeit noch auf objektive oder subjektive Ermüdungsmarker (Tab. 7.3.2 und Abb. 7.3.3). Auf individueller Ebene berichteten jedoch einige Spieler von positiven oder sogar negativen Effekten auf das Erholungsempfinden. Dies spiegelte sich teilweise u. a. in einer entsprechend positiven oder negativen Veränderung der individuellen Sprungleistung wider.

Handlungsempfehlungen für die Praxis

Grundsätzlich muss zwischen der kurzfristigen Regeneration während eines Tennismatches oder bei Mehrfachbelastungen innerhalb ein und desselben Tages (z. B. Einzel und Doppel an einem Tag) und der mittel- und langfristigen Regeneration zur Wiederherstellung der Leistung an den Folgetagen nach intensiven Trainingseinheiten oder Turnierphasen unterschieden werden. Unter Berücksichtigung der geringen Evidenz zur Wirksamkeit einzelner oder kombinierter Regenerationsprogramme im Tennis sowie der individuell unterschiedlichen Ermüdungs- und Erholungsverläufe ergeben sich folgende allgemeine Handlungsempfehlungen für das Regenerationsmanagement im Tennis. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die geringen messbaren Effekte auf die tennisspezifische Leistungsfähigkeit natürlich auch methodisch bedingt sind. Leistung im Tennis ist äußerst komplex und kann daher nur schwer erfasst werden. Zudem können reale Turniersituationen kaum simuliert werden.

- ▶ Die Bedeutung einer angemessenen Flüssigkeits- und Nährstoffzufuhr vor, während und nach dem Tennis ist unbestritten. Vor allem Tennismatches oder Trainings-

einheiten unter Hitzebedingungen erfordern eine ausreichende und regelmäßige Flüssigkeitsaufnahme, um ausgeprägte Wasser- und Elektrolytverluste zu kompensieren. Kohlenhydrat- und elektrolythaltige Sportgetränke können dabei helfen, den Blutzuckerspiegel im Matchverlauf zu stabilisieren, physiologische Stressreaktionen zu reduzieren sowie die subjektiv empfundene Belastungstoleranz zu steigern und können daher empfohlen werden. Sie besitzen jedoch keinen messbaren Vorteil hinsichtlich der Steigerung der Leistungsfähigkeit. Insbesondere nach langen, intensiven Matches oder Trainingsbelastungen steigt die Bedeutung einer angemessenen Kohlenhydratzufuhr. Durch eine optimale Ernährungsstrategie kann die Aufrechterhaltung der Gesamtleistung im Verlauf eines Turniers oder einer Trainingsphase unterstützt werden.

- ▶ Zur Unterstützung der Belastungstoleranz und Thermoregulation im Wettkampf oder Training unter Hitzebedingungen empfiehlt sich der kombinierte Einsatz von Kühlstrategien (eiskalte Getränke, mit Eis gefüllte Handtücher, Befeuchten der Hautoberfläche, Ventilator). Zwar haben Kühlmaßnahmen keinen messbaren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. Sie steigern aber Wohlbefinden und Hitzeto-

leranz und erhöhen somit die Leistungsbereitschaft und Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen der Thermoregulation bzw. Hitzeerkrankungen (u. a. Hitzerschöpfung) bei Hitzeexposition.

- › Die mittel- und langfristige Regeneration im Tennis kann durch kostengünstige und praktikable Kompressions- und/oder Kühlmaßnahmen teilweise unterstützt werden. Laut REGman-Befunden zeigen sich aber im Mittel keine Effekte eines komplexen Regenerationsprogramms (d. h. Auslaufen, Stretching, Kaltwasserimmersion und Massage) auf den Erholungsverlauf während und nach einem Tennisturnier. Dennoch profitierten einzelne

Spieler stärker als andere, sodass bei der Auswahl von Regenerationsstrategien individuelle Vorlieben und Reaktionen der Spieler sowie physiologisch begründbare Applikationszeitpunkte berücksichtigt werden sollten.

- › Ausreichender Schlaf ist auch im Tennis wichtige Grundvoraussetzung für die Regeneration der körperlichen Leistungsfähigkeit am Folgetag bzw. an den Folgetagen nach intensiven Belastungen bzw. Belastungsphasen. Durch die Sicherstellung externer Rahmenbedingungen für ein optimales Schlafmanagement können Ermüdungssymptome im Tennis gelindert werden.

Literatur

- Brink-Elfegoun, T., Ratel, S., Lepretre, P., Metz, L., Ennequin, G., Dore, E., ... Peltier, S. L. (2014). Effects of sports drinks on the maintenance of physical performance during 3 tennis matches: A randomized controlled study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11, 1-10.
- Calder, A. (2010). Coaching perspectives of tennis recovery. In S. Kovacs, T. S. Ellenbecker & W. B. Kibler (Hrsg.), *Tennis recovery: A comprehensive review of the research* (S. 1-64). White Plains, NY: United States Tennis Association Inc.
- Duffield, R., Murhphy, A., Kellett, A. & Reid, M. (2014). Recovery from repeated on-court tennis sessions: combining cold-water immersion, compression, and sleep interventions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 273-282.
- Duffield, R., Bird, S. P. & Ballard, R. J. (2011). Field-based pre-cooling for on-court tennis conditioning training in the heat. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10, 376-384.
- Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A. & Pluim B. (2006). Intensity of tennis match play. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 387-391.
- Ferrauti, A., Fett, J., Vuong, J. & Ulbricht, A. (2019). Zehn Jahre DTB-Konditionstest: Ein Rückblick. *Tennisport – Fachzeitschrift für Training und Wettkampf*, 2, 12-19.
- Ferrauti, A., Meyer, P. & Weber, K. (2016). *Handbuch für Tennistraining: Leistung – Athletik – Gesundheit*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Gomes, R. V., Capitani, C. D., Ugrinowitsch, C., Zourdos, M. C., Fernancez-Fernancez, J., Mendez-Villanueva, A. & Aoki, M. S. (2013). Does carbohydrate supplementation enhance tennis match play performance? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10, 1-7.
- Gomes, R. V., Moreira, A., Coutts, A. J., Capitani, C. D. & Aoki, M. S. (2014). Effect of carbohydrate supplementation on the physiological and perceptual response to prolonged tennis match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 735-741.
- Kraemer, W. J., Flanagan, S. D. & Gwendolyn, A. (2010). The physiological basis of recovery: Special consideration in tennis. In S. Kovacs, T. S. Ellenbecker & W. B. Kibler (Hrsg.), *Tennis recovery: A comprehensive review of the research* (S. 65-128). White Plains, NY: United States Tennis Association Inc.
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport – REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Naito, T., Sagayama, H., Akazawa, N., Haramura, M., Tasaki, M. & Takahashi, H. (2018). Ice slurry ingestion during break times attenuates the increase of core temperature in a simulation of physical demand of match-play tennis in the heat. *Temperature*, 5, 371-379.
- Peltier, S. L., Lepretre, P., Metz, L., Ennequin, G., Aubineau, N., Lescuyer, J., . . . Sirvent, P. (2013). Effects of pre-exercise, endurance, and recovery designer sports drinks on performance during tennis tournament simulation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 3076-3083.

- Pèriard, J. D., Racinais, S., Knez, W. L., Herrera, C. P., Christian, R. J. & Girard, O. (2014). Coping with heat stress during match-play tennis: does an individualised hydration regimen enhance performance and recovery? *British Journal of Sports Medicine*, 48, 1-8.
- Schranner, D., Schierer, L., Lynch, G. P., Korder, S., Brotherhood, J. R., Pluim, B. M., . . . Jay, O. (2017). In-play cooling interventions for simulated match-play tennis in hot/humid conditions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49, 991-998.
- Ziemann, E., Olek, R. A., Kujach, S., Grzywacz, T., Antosiewicz, J., Garsztka, T. & Laskowski, R. (2012). Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players. *Journal of Athletic Training*, 47, 664-672.

7.3 Hallen-Volleyball

David Ochmann, Christian Rasche, Thiemo Pelzer & Mark Pfeiffer

7.3



Das motorische Anforderungsprofil im Hallen-Volleyball, welches durch azyklisches, repetitives, explosives Springen sowie Laufbewegungen mit kurzen Antritten gekennzeichnet ist, unterscheidet sich von dem anderer Sportspiele (Nogueira et al., 2014; Polgaze & Dawson, 1992; Sheppard et al., 2006). Hinzu kommt, dass aufgrund der Einführung von Libero Volleyballspieler sich auf feste Spielpositionen spezialisieren, die verschiedene Profile aufweisen (Sheppard et al., 2009). Mittelblocker sind z. B. größer und schwerer im Vergleich zum Libero. Weitere Unterschiede zwischen den Spielpositionen zeigen sich bei psychomotorischen Fähigkeiten, wie Reaktionszeit (Chmura & Nazar, 2010), Entscheidungsschnelligkeit und Bewegungsschnelligkeit (McMorris et al., 2005). Ungeachtet positionsspezifischer Differenzierungen im Anforderungsprofil sind die Sprungfähigkeit und die Bewegungsgeschwindigkeit die primären physischen Komponenten im Volleyball (Sheppard et al., 2007, 2008). Die hohen Sprungbelastungen (Frequenz als auch Gesamtvolumen) in Verbindung mit schnell zu vollziehenden Richtungswechseln verlangen sowohl im Angriffs- als auch im Blockspiel einen hohen Anteil exzentrisch-konzentrischer Muskelarbeit (u. a. Richtungsänderung bei gleichzeitigem Abbremsen der Bewegung; Absprung und Landung nach Sprungaktion). Diese multidirektionalen Feldbewegungen (z. B. Sprints, Hechten, Sprünge) sorgen für hohe Belastungen der Muskulatur und der passiven Strukturen der unteren Extremitäten (Dyba, 1982). Ausgelöst durch die hohen Belastungen stellen chronische Schäden der Knieextensoren sowie der passiven Strukturen am Muskel-Sehnen-Apparat des Kniegelenks ein primäres Verletzungsbild dar (Bahr & Bahr, 2014; Charlton et al., 2017). Studien zur Quantifizierung physischer Belastungsmerkmale zeigen für beide Geschlechter, dass im Hallen-Volleyball je nach Position im Mittel ca. 70 Sprünge pro Stunde Wettkampfszeit (ca. zwei bis drei Sätze) absolviert werden (Czimek, 2017).

Zusammenfassend lässt sich für das multidimensionale Anforderungsprofil im Hallen-Volleyball sagen, dass die meisten Spielaktionen hauptsächlich explosiv/schnellkräftig mit einem hohen Anteil an exzentrisch-konzentrischen Muskelkontraktionen ausgeführt werden.

Regenerationsbedarf im Hallen-Volleyball

Aufgrund der Belastungsstruktur in Training und Wettkampf lassen sich vor allem im Hinblick auf die Vermeidung von Verletzungen (Prophylaxe) zwei übergeordnete Zielstellungen ableiten:

1. Im Training: Wiederherstellung der Belastbarkeit zwischen Trainingseinheiten, um durchgängig anpassungswirksame Trainingsreize/-belastungen realisieren zu können.
2. Im Wettkampf (Turnier): Zeitnahe Wiederherstellung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit nach dem Wettspiel.

Die Frage nach geeigneten Regenerationsmaßnahmen zur Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit nach Wettspielen (Punkt 2) ist aus Sicht der Sportpraxis von besonderem Interesse, vor allem im Hinblick auf große internationale Turniere mit mehreren Spielen an aufeinander folgenden Tagen. Bedingt durch die in den letzten Jahren gestiegene Wettkampfdichte und das hohe internationale Leistungsniveau werden in den Sportspielen zunehmend Fragen der Regeneration und des Regenerationsmanagements in den Blickpunkt gerückt. Ziel ist es, die durch häufige explosivkräftige und exzentrische Bewegungen hervorgerufenen physiologischen Ermüdungssymptome (z. B. Muskelkater) durch geeignete Regenerationsmaßnahmen zu lindern und die Reparaturprozesse zu unterstüt-

zen. Des Weiteren sollte die verwendete Regenerationsmaßnahme keinen negativen Effekt auf die nachfolgende sportliche Leistung haben. Die regenerationsbedürftigen Anforderungen im Volleyball beinhalten hierbei physiologische (u.a. explosivkräftige dynamisch-exzentrische Bewegungen, welche Muskelkater provozieren können), neurologische (u.a. hoher Präzisionsdruck & Zeitdruck, welche durch schnellkräftigen Bewegungen bewältigt werden), und psychologische (u.a. Wettkampfangst, sozialer/medialer Druck) Dimensionen.

Regenerationsverfahren im Hallen-Volleyball – Studienlage

Die wissenschaftliche Evidenz zur Wirksamkeit von Regenerationsmaßnahmen im Hallen-Volleyball ist bislang nicht überzeugend abgebildet. Nur wenige Studien nutzen volleyballspezifische Protokolle und Tests (Freitas et al., 2019; Gabbett & Georgieff, 2006). Da das Thema der Regeneration im Hallen-Volleyball bislang kaum Beachtung in wissenschaftlichen Veröffentlichungen gefunden hat (Freitas et al., 2019), wurde der Bedarf der Praxis bereits in Phase I des REGman-Projekts aufgegriffen. Im Rahmen der Komplexinterventionen (Modul H2.1) wurde eine Feldstudie mit der Herren-Nationalmannschaft durchgeführt, um den Einfluss von aktiver Erholung auf verschiedene Surrogatparameter vor und nach drei Wettspielen zu untersuchen (Meyer et al., 2016). Von besonderem Interesse war hierbei die Wiederherstellung der volleyballspezifischen Leistungsfähigkeit. Im Ergebnis konnte kein gruppenstatistischer Effekt der aktiven Erholung auf die Sprunghöhe beim Counter-Movement Jump (CMJ) im Vergleich zur passiven Erholung festgestellt werden (Meyer et al., 2016). Aufgrund der Limitationen des Settings konnte lediglich eine Regenerationsmaßnahme (aktive Erholung) durchgeführt werden. Rege-

nerationsmaßnahmen, wie zum Beispiel Foam-Rolling (FR) und Kaltwasserimmersion (KWI), die aufgrund ihrer Wirkmechanismen und der aktuellen Befundlage bei sportspielspezifischen Belastungen (Sprünge, Laufbewegungen mit schnellen Richtungswechseln) erfolgsversprechend im Hinblick auf eine Reduktion von Ermüdungserscheinungen zu sein scheinen, konnten nicht einbezogen werden. Um diese Forschungslücke zu schließen, wurde in Zusammenarbeit mit dem Volleyballinternat Frankfurt am Main eine Studie zu den Effekten von FR und KWI auf die Wiederherstellung insbesondere der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit im Anschluss an eine Wettkampfbelastung durchgeführt.

Regenerationsverfahren

Aufgrund der Belastungsstruktur im Wettkampf (Explosivkraft; hoher Anteil exzentrischer Muskelkontraktionen, s.o.) und der Zeitstruktur im Turniersetting (zwischen den Spielen teilweise nur 24h Erholungszeit) gibt es einen hohen Bedarf an effektiven, umsetzbaren, ökonomischen und nicht belastende Regenerationsmaßnahmen. In Punkto Praktikabilität ist die Massage mit der Schaumstoffrolle (Foam-Rolling; FR) der Kaltwasserimmersion (KWI) überlegen. Jedoch liegt bei der Wirkungsweise der beiden Regenerationsmaßnahmen aktuell kein einheitlicher Konsens vor, um hieraus konkrete Vorgaben für die Praxis ableiten zu können. Tendenziell konnten bei der FR-Maßnahme keine negativen Einflüsse auf die Regeneration und die Leistungsfähigkeit verzeichnet werden (Cheatham et al., 2015; Wiewelhove et al., 2019). Aus der subjektiven Sichtweise konnte eine Reduktion des Muskelschmerzes (delayed onset muscle soreness; DOMS) an den darauffolgenden Tagen verzeichnet werden. Allerdings ist der genaue Wirkungsmechanismus von FR bis heute nicht eindeutig geklärt. Bei der KWI zeigt sich eine ähnliche diffuse Studienlage. Das Ziel der KWI ist durch Ab-

kühlung der Hautoberfläche eine beschleunigte muskuläre Regeneration und eine Verringerung des Muskelkaters zu erzeugen. Besonders in Phasen, in denen die Erholungszeiträume kurz sind und eine möglichst rasche Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit angestrebt wird, findet die KWI einen großen Zuspruch. So wird die KWI zum Beispiel in Mannschaftssportarten während Turnieren, bei Rundfahrten im Radsport oder während Tennisturnieren regelmäßig eingesetzt (Leeder et al., 2012). Hierbei konnte gezeigt werden, dass die Ödembildung (Wasseranlagerung mit Vergrößerung des Oberschenkelumfangs) im Bereich des Oberschenkels nach der Anwendung geringer war (Bleakley & Davison, 2010; Freitas et al., 2019). Gemessen an der Leistungsfähigkeit wurden neben positiven Auswirkungen der KWI auf die Regeneration

auch negative Effekte berichtet (Poppendieck et al., 2013). Die KWI scheint auf physiologischer als auch auf psychologischer Ebene Veränderungen zu induzieren, die sich positiv auf die Leistungsfähigkeit auswirken können (Bleakley & Davison, 2010). Ein Effekt nach dem Volleyballtraining auf die sportliche Leistung sowie inflammatorische und hormonelle Marker konnte für die KWI nicht beobachtet werden (Freitas et al., 2019). Im Hinblick auf die volleyballspezifische Wettkampfbelastung liegen allerdings keine Befunde zu den Effekten von FR und KWI vor, dennoch werden diese Regenerationsmaßnahmen sowohl im Trainingsalltag als auch im Turnier integriert. Zusätzlich bestand großes Interesse der Volleyball-Praxis, diese beiden Regenerationsmaßnahmen zu vergleichen.

Tab. 7.3.1: Untersuchungsablauf eines Interventionsblocks.

| Zeitraum | 1. Tag | 2. Tag | 3. Tag |
|-------------------|--|---|-------------------|
| ab 7:30 Uhr | | Aufschlag-Annahme | Messung Post 12h |
| | | | Aufschlag-Annahme |
| ab 9:30 Uhr | Schule | Schule | Schule |
| | | Messung Pre | |
| 16:00 - 21:00 Uhr | Leichtes Training Wettkampfvorbereitung | Wettkampf (Simulation) | Messung Post 24h |
| | | | Training |
| | | Messung Post | |
| | | Durchführung der Regenerationsmaßnahmen | |

Tab. 7.3.2: Verwendete Messverfahren und Parameter aus dem REGman-Diagnostikinventar.

| Kategorie | Methode | Parameter |
|--------------------------|--|--|
| Motorischer Test | Counter-Movement Jump (CMJ) (1) mit Armen und (2) mit Stemmschritt und Armen | Sprunghöhe [cm] |
| Laborwert | 20 µl Kapillarblut aus der Fingerbeere | Kreatinkinase (CK) [U/l] |
| Muskelmechanik | Nicht-invasive mechanische Messung (MyotonPro© device (Myoton AS, Tallinn, Estonia)) | Spannung, Relaxation und Steifheit des Muskels |
| Subjektive Beanspruchung | Aufzeichnung der subjektiven Belastungsempfinden [RPE; 0-10 Skala] | RPE |
| Psychometrie | Akutmaß Erholung und Beanspruchung (AEB) | 32 Items |

REGman-Befunde

In Phase II wurden am Volleyballinternat Frankfurt am Main mit einem wöchentlichen Abstand drei standardisierte Wettkampfsimulationen mit drei unterschiedlichen Regenerationsmaßnahmen im Cross-Over-Design durchgeführt.

Probanden und Ablauf der Untersuchung

Zwölf Nachwuchsvolleyballspieler (Alter 18,1 Jahre \pm 0,5; Größe 193,9 cm \pm 4,6; Gewicht 83,7 kg \pm 7,9) nahmen an der Untersuchung teil. Die Spieler absolvierten innerhalb von drei Wochen drei Wettkampfsimulationen (vier Sätze, zwei Stunden Gesamtdauer, zwei Auszeiten pro Satz), wobei alle Spieler jeweils im Anschluss an die Belastung eine der drei Interventionsmaßnahmen bestehend aus FR, KWI und einer Placebo-Anwendung (Einreiben mit Öl) absolvierten (Tabelle 7.3.1).

Das Ziel dieses Designs war es, die wiederholte volleyballspezifische Belastungsstruktur eines typischen Wettkampfes (z. B. Europa- und Weltmeisterschaft; Olympische Spiele) abzubilden, bei der bereits ca. 24 Stunden nach dem letzten Wett-

kampf das nächste Spiel anstehen kann. Damit sollten volleyballspezifische psycho-physische Ermüdungsreaktionen provoziert werden.

Der simulierte Wettkampf am Testtag orientierte sich an positionsspezifischen Belastungsnormativen aus der Literatur (Anzahl von Block-, Angriffs- und Sprungaktionen sowie Nettobelastungs- und Pausenzeiten) (Alcaraz et al., 2017; Czimek, 2017; Sheppard et al., 2009). Die Belastung während der Wettkampfsimulation wurde positionsspezifisch dokumentiert und intraindividuell für alle drei Messzeitpunkte konstant gehalten. Die Dauer der Spielzüge (Spielkomplexe K1-K4) wurden pro Rally vorgegeben, sodass die prozentuale Häufigkeit der Komplex-Situationen den in der Literatur zu findenden Werten entspricht. Die subjektive Beanspruchung wird nach der Belastung über das Rating of Perceived Exertion (RPE; 10-stufige Borg-Skala [1 = sehr leicht bis 10 = Maximal (mehr geht nicht)]) ermittelt. Bei allen drei Interventionsblöcken wurden jeweils in einer Pre-, einer Post-, einer Post-12h- und einer Post-24h-Messung verschiedene Ermüdungsmarker (Surrogatparameter) in Anlehnung an das standardisierte REGman-Diagnostikinventar erhoben (Tabelle 7.3.2).

Regenerationsmaßnahmen

Die Regenerationsmaßnahmen (FR, KWI, Placebo) wurden direkt im Anschluss an die Diagnostik nach der Wettkampfsimulation randomisiert durchgeführt. Das FR wurde unter Anleitung an sechs Muskelgruppen (Waden, Oberschenkel vorne, hinten und außen – jeweils rechts und links –, Gesäß und unterer Rücken) mit jeweils 3x45 Sekunden Rolldauer und einem individuellen Schmerzempfinden von 3/10 Punkten durchgeführt. Die KWI erfolgte halsabwärts für zehn Minuten in 12 bis 15°C kaltem

Wasser und als Placebomaßnahme wurde ein farb- und geruchsloses Massageöl ohne Wirkstoffe verwendet, welches auf die unteren und oberen Extremitäten aufgetragen wurde, mit anschließendem 20-minütigem passiven Sitzen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die eingesetzten Regenerationsmaßnahmen keinen gruppenstatistischen Effekt haben. Hierfür wurden nur die Spieler verwendet, welche alle Parameter lückenlos (ohne Ausreißer) vorweisen konnten. Des Weiteren wurden keine systematischen zeitlichen Veränderungen der Parameter für die Ge-



Abb. 7.3.1: Angewendete Messverfahren zur Bestimmung von physikalischen (Counter-Movement Jump mit Armeinsatz (CMJ), MyotonPro) und physiologischen Messgrößen (Kreatinkinasekonzentration (CK)).

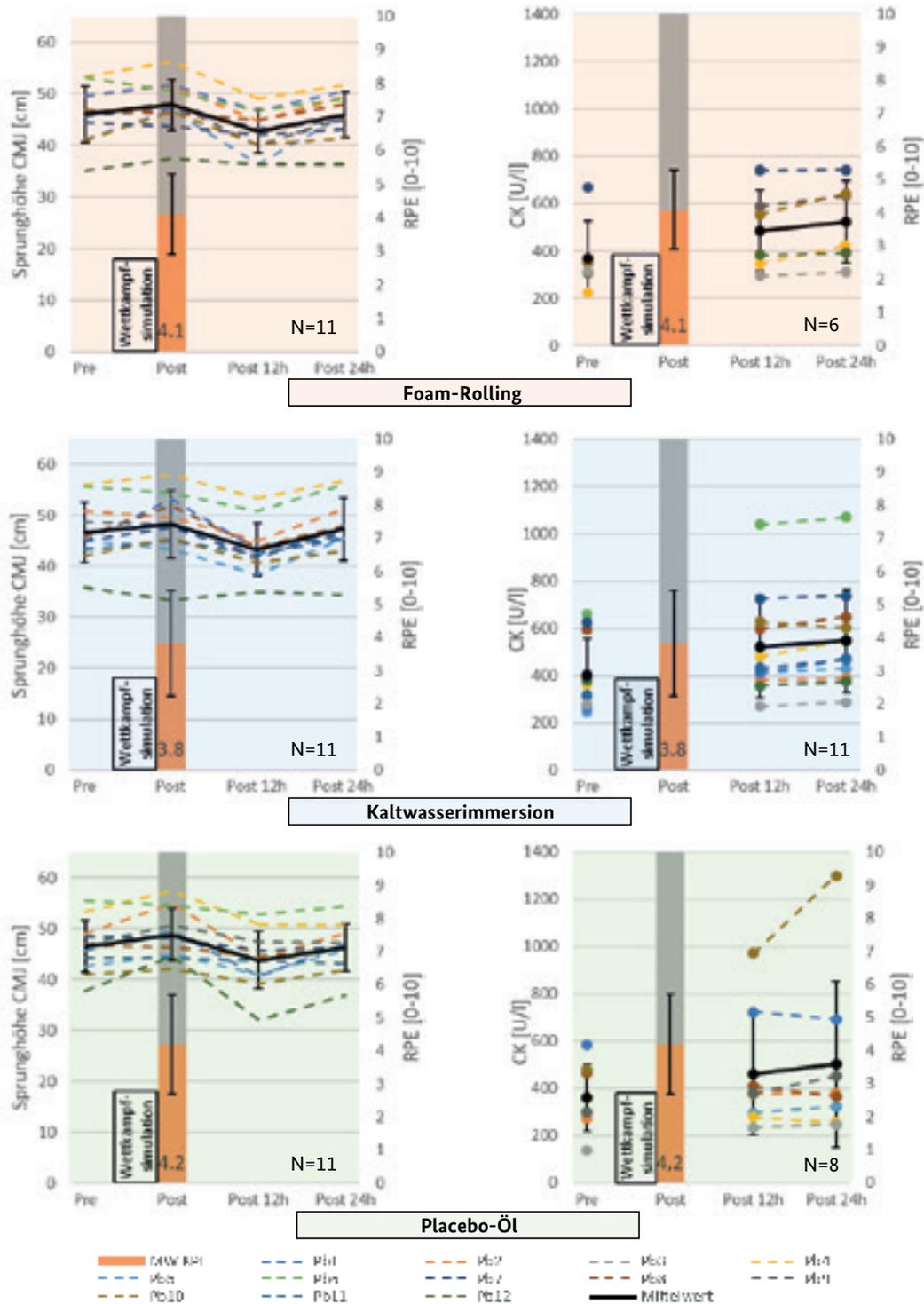


Abb. 7.3.2: Einfluss der Regenerationsmaßnahmen auf die Sprunghöhe (CMJ mit Armeinsatz; links) und Kreatinkinasekonzentration (CK; rechts) vor, direkt (Post), 12h und 24h nach der Wettkampfsimulation, sowie der Mittelwert (MW) des subjektiven Belastungsempfindens (RPE) direkt nach der Wettkampfsimulation (Post). Es wurden die Spieler abgebildet, welche keine Vorbelastung vor der Wettkampfsimulation erfahren haben (Anzahl der Spieler (N)).

samtgruppe festgestellt. Alle Parameter verweisen auf eine hohe Individualität bei der Reaktion auf die applizierten Regenerationsmaßnahmen im Anschluss an einer Wettkampfsimulation, so dass ein heterogenes Bild zu konstatieren ist. Ein Anstieg zwischen den Messzeitpunkten Pre und Post 24h konnte für CK abgebildet werden (FR: 371 ± 155 U/l auf 524 ± 172 U/l; KWI: 404 ± 150 U/l auf 547 ± 217 U/l; Placebo-Öl: 362 ± 142 U/l auf 502 ± 352 U/l). Bei der Ermittlung der CK-Mittelwerte mussten aufgrund von Nichteinhaltung der Standardisierungsbedingungen zur Bestimmung von Erholung (Pre), wie z. B. einer Vorbelastung (Krafttraining, Cooper-Test oder Belastungs-EKG) vor der eigentlichen Wettkampfsimulation, Spieler ausgeschlossen werden. Die relativen und absoluten Anstiege unterscheiden sich jedoch nicht zwischen den Regenerationsmaßnahmen. Durch die Kontrolle der positionsspezifischen Belastung (Anzahl an Sprüngen und Spielzeit) konnte die Beanspruchung für alle drei Wettkampfsimulationen

recht konstant gehalten werden, was durch den gleichbleibenden RPE abgebildet wird (FR: $4,1 \pm 1,2$; KWI: $3,8 \pm 1,6$; Placebo-Öl: $4,2 \pm 1,5$).

Werden die einzelnen Spieler etwas genauer betrachtet (siehe Abb. 7.3.2), dann zeigt sich, dass zwischen den Messzeitpunkten Pre zu Post 24h bezogen auf die Regenerationsmaßnahmen einer (FR), drei (KWI) und zwei Spieler (Placebo-Öl) eine bessere Sprungleistung (höher als ihre individuelle biologische Varianz (personenspezifischer Variationskoeffizient; CV)) im Counter-Movement Jump erzielten (positive Responder). Jedoch wiesen drei (FR), ein (KWI) und zwei (Placebo-Öl) Spieler eine Reduktion in ihrer Leistungsfähigkeit im Counter-Movement Jump (negative Responder) auf. Die Mehrheit der Spieler zeigten unveränderte Parameter (sieben (FR), sieben (KWI) und sieben (Placebo-Öl)) im Counter-Movement Jump zwischen den Messzeitpunkten auf und zählen somit zu den limitierten Respondern.

Handlungsempfehlungen für die Praxis

Basierend auf den REGman-Befunden ist zunächst hervorzuheben, dass es mit der Wettkampfsimulation gelungen ist, volleyballspezifische Spielbelastungen mit hoher Zuverlässigkeit (Wiederholbarkeit) zu erzeugen/applizieren, das heißt bei mehrfacher Durchführung kann von nahezu identischen Belastungen ausgegangen werden (RPE-Werte). Im Vergleich zum Placebo-Öl führten die angewendeten Regenerationsmaßnahmen Kaltwasserimmersion (KWI) und Foam-Rolling (FR) zu keinem gruppenspezifischen Unterschied im Verlauf der Kreatinkinase (CK) und dem Counter-Movement Jump (CMJ).

Unter Berücksichtigung der hohen Inter- und Intraindividualität der Wirksamkeit der angewandten Regenerationsmaßnahmen ergeben sich folgende allgemeine Handlungsempfehlungen für das Regenerationsmanagement im Hallen-Volleyball:

- Durch die applizierten Regenerationsmaßnahmen (FR und KWI) werden keine negativen Effekte auf die Leistungsfähigkeit der Athletinnen und Athleten im Hallen-Volleyball provoziert.
- Aus organisatorischen Gründen kann im Hinblick auf ein Turnier an unterschiedlichen Standorten die platzsparende und unkomplizierte FR-Methode eher empfohlen werden.

- ▶ Bezogen auf die Sprunghöhenleistung im CMJ, welche eine essenzielle Fähigkeit im Hallen-Volleyball darstellt, scheint individuell betrachtet die KWI einen mehrheitlich positiven Effekt zu haben. Jedoch negiert sich der Effekt 24h später. Hieraus kann abgeleitet werden, dass im Training oder beim Turnier mit einer hohen Belastungsdichte am selben Tag, die KWI im Hallen-Volleyball empfohlen werden kann.
- ▶ Zur Abbildung von Ermüdung direkt nach der Wettkampfsimulation konnte die Variable Sprunghöhe des CMJ nicht überzeugen. Dieser Parameter des CMJ wies direkt nach der Simulation eine Verbesserung auf, was vermutlich auf einen neuronalen und wärmebedingten Trainingseffekt während des Wettkampfes zurückzuführen ist. Trotzdem kann der CMJ zur Ermüdungsdetektion empfohlen werden. Jedoch sollte der Fokus auf weitere Parameter, wie z. B. maximaler Abdruck, Zeit bis zum maximalen Abdruck, Kraftentfaltung usw. genutzt werden (Gathercole et al., 2015).
- ▶ Die CK-Konzentration dient als muskulärer Ermüdungsmarker im Blut, welcher erst 12h bis 24h nach der Belastung seinen maximalen Ausschlag aufweist. Liegt ein erhöhter CK-Wert in Ruhe vor, kann dies zu einer Vorbelastung oder auf eine Ermüdung hindeuten. Für einmalige Messung ist dieser Wert jedoch nicht zu empfehlen. Bei den REGman-Befunden konnte der CK-Verlauf gruppenstatistisch nur einen Trend zur Ermüdung 24h nach der Simulation aufzeigen. Wird der CK-Verlauf individuell betrachtet, zeigten sich Unterschiede im Anstieg zwischen den Messzeitpunkten. Es empfiehlt sich, einen Längsschnitt über mehrere Monate durchzuführen, um eine Einordnung des akut gemessenen CK-Werts machen zu können.
- ▶ Vor diesem Hintergrund sollten Routinen der Athletinnen und Athleten nicht durchbrochen werden, sodass die Regenerationsmaßnahmen FR und KWI individuell und nach Bedarf angewendet werden sollten.

Literatur

- Alcaraz, A. G. de, Valadés, D. & Palao, J. M. (2017). Evolution of game demands from young to elite players in men's volleyball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 788-795.
- Bahr, M. A. & Bahr, R. (2014). Jump frequency may contribute to risk of jumper's knee: A study of interindividual and sex differences in a total of 11,943 jumps video recorded during training and matches in young elite volleyball players. *British Journal of Sports Medicine*, 48(17), 1322-1326.
- Bleakley, C. M. & Davison, G. W. (2010). What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44(3), 179-187.
- Charlton, P. C., Kenneally-Dabrowski, C., Sheppard, J. & Spratford, W. (2017). A simple method for quantifying jump loads in volleyball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(3), 241-245.
- Cheatham, S. W., Kolber, M. J., Cain, M. & Lee, M. (2015). The effects of self-myofascial release using a foam roll or roller massager in joint range of motion, muscle recovery, and performance: A systematic review. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(6), 827-838.
- Chmura, J. & Nazar, K. (2010). Parallel changes in the onset of blood lactate accumulation (OBLA) and threshold of psychomotor performance deterioration during incremental exercise after training in athletes. *International Journal of Psychophysiology*, 75(3), 287-290.
- Czimek, J. (Hrsg.). (2017). *Volleyball - Training & Coaching: Vom Jugend- zum Leistungsvolleyballer: kombinierte Rahmentrainingskonzeption Volleyball und Beach-Volleyball des Deutschen Volleyball-Verbandes*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Dyba, W. (1982). Physiological and activity characteristics of volleyball. *Volleyball Technical Journal*, 6, 33-51.
- Freitas, V. H. de, Ramos, S. P., Bara-Filho, M. G., Freitas, D. G. S., Coimbra, D. R., Cecchini, R., . . . Nakamura, F. Y. (2019). Effect of cold water immersion performed on successive days on physical performance, muscle damage, and inflammatory, hormonal, and oxidative stress markers in volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(2), 502-513.
- Gabbett, T. J. & Georgieff, B. (2006). The development of a standardized skill assessment for junior volleyball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(2), 95-107.
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T. & Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 84-92.
- Leeder, J., Gissane, C., van Someren, K., Gregson, W. & Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 46(4), 233-240.
- McMorris, T., Delves, S., Sproule, J., Lauder, M. & Hale, B. (2005). Effect of incremental exercise on initiation and movement times in a choice response, whole body psychomotor task. *British Journal of Sports Medicine*, 39(8), 537-541.

- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport: REGman - Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Nogueira, F. C. d. A., Nogueira, R. A., Coimbra, D. R., Miloski, B., Freitas, V. H. de & Filho, M. B. (2014). Internal training load: Perception of volleyball coaches and athletes. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 16(6), 638-647.
- Polgaze, T. & Dawson, B. (1992). The physiological requirements of the positions in state league volleyball. *Sports Coach*, 15, 32-37.
- Poppendieck, W., Faude, O., Wegmann, M. & Meyer, T. (2013). Cooling and performance recovery of trained athletes: A meta-analytical review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(3), 227-242.
- Sheppard, J. M., Gabbett, T. & Borgeaud, R. (2008). Training repeated effort ability in national team male volleyball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(3), 397-400.
- Sheppard, J. M., Gabbett, T. J. & Stanganelli, L.-C. R. (2009). An analysis of playing positions in elite men's volleyball: Considerations for competition demands and physiologic characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1858-1866.
- Sheppard, J. M., Gabbett, T., Taylor, K.-L., Dorman, J., Lebedew, A. J. & Borgeaud, R. (2007). Development of a repeated-effort test for elite men's volleyball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(3), 292-304.
- Sheppard, J. M., Young, W. B., Doyle, T. L. A., Sheppard, T. A. & Newton, R. U. (2006). An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(4), 342-349.
- Wiewelhove, T., Döweling, A., Schneider, C., Hottenrott, L., Meyer, T., Kellmann, M., . . . Ferrauti, A. (2019). A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Frontiers in Physiology*, 10, 376. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00376>

8 Einfluss des Athletenalters auf das Regenerationsmanagement

Laura Hottenrott & Alexander Ferrauti



Der Einfluss des Alters auf Regenerationsbedarf und Regenerationsvermögen ist von hoher Praxisrelevanz, da in zahlreichen Sportarten bereits im Kindes- und Jugendalter leistungsorientiert trainiert wird. Folglich müssen in Kaderstrukturen und Sportspielmannschaften altersheterogene Athletengruppen angemessen betreut werden. Sportliche Leistungen werden auf Welt-niveau in einer großen Altersspanne erbracht. Bei Olympischen Spielen oder Weltmeisterschaften sind Erstplatzierungen im Juniorenal-ter (U23) oder im Alter von über 35 Jahren vor allem in den Ausdauersportarten und -disziplinen sowie den Sportspielen keine Seltenheit. So wurden in der Sportart Biathlon sowohl Laura Dahlmeier (GER) mit 22 Jahren als auch Ole Einar Bjørndalen (NOR) mit 40 Jahren Olympiasieger. Im Marathon lief Eliud Kipchoge (KEN) im Alter von 34 Jahren Weltrekord (2:01:39 h) und ein Jahr später inoffiziellen Weltrekord unter zwei Stunden (1:59:40 h). Im Radsport gewann Egan Bernal (COL) 2019 im Alter von 22 Jahren die Tour de France. NBA Spieler Dirk Nowitzki (GER), Tennisprofi Roger Federer (SWI) und Ironmanweltmeister Jan Frodeno (GER) sind annähernd 40 Jahre alt und zählen zur absoluten Weltspitze in ihrer Sportart. In der Sportpraxis besteht die allgemeine Auffassung, dass sich die Regeneration mit zunehmendem Alter verschlechtert. Evidenzbasierte Studien gibt es zu dieser Annahme jedoch nicht. Es gilt daher zu klären, inwieweit das Regenerationsmanagement altersbezogen angepasst werden muss und inwieweit das Alter einen Effekt auf die Wirkung regenerativer Maßnahmen hat.

Regenerationsmanagement bei Kindern

Bewegungsaktive Kinder verfügen über eine sehr gute regenerative Kapazität und weisen eine hohe Ermüdungsresistenz bei Kurzzeitintervallen auf (Kappenstein, Ferrauti, Runkel, Fernandez-Fernandez, Müller & Zange, 2013; Ratel, Bedu, Hennegrave, Dore & Duche, 2002; Van Praagh & Doré, 2007). Im Vergleich zu bewegungsaktiven Erwachsenen zeigt sich dies in einer schnelleren Regenerationsfähigkeit, sowohl akut während des Trainings (z. B. zwischen Intervallbelastungen) als auch nach einer Trainingseinheit. Herzfrequenz, Ventilation und Sauerstoffaufnahme nähern sich nach Belastungsende schneller den Ruheausgangswerten an (Hebestreit, Mimura & Bar-Or, 1993). Ursachen für diese Unterschiede werden in der geringeren Ausschöpfung der anaeroben Glykolyse, der schnelleren Stoffwechselaktivität sowie der geringen mechanischen und metabolischen Beanspruchung der Kinder gesehen (Beneke, Hütler & Leithäuser, 2007; Ratel, Duche & Williams, 2006).

Die beschriebenen Befunde konnten in eigenen Untersuchungen bestätigt werden. Maximale Intervallsprint-Belastungen (z. B. 10 Sprints über eine Dauer von 5 s und nachfolgender Pause von 40 s) wurden von 10-jährigen Mädchen deutlich besser toleriert als von Sportstudentinnen. Die Kinder erreichten signifikant niedrigere maximale Laktatkonzentrationen (Abb. 8.1), tolerierten dabei problemlos sehr hohe Herzfrequenzen und unterlagen einem geringeren Abfall des Blut pH-Werts. Demzufolge war auch die subjektive Beanspruchung (RPE-Skala) bei den Kindern deutlich geringer als in der studentischen Vergleichsgruppe (Kappenstein, Fernández-Fernández, Engel & Ferrauti, 2015).

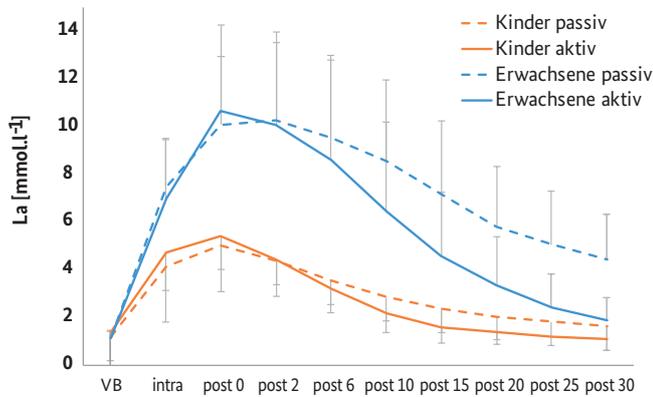


Abb. 8.1: Laktatelimination von Kindern (n=16) und Erwachsenen (n=16) nach intensivem Intervallsprinttraining mit passiver oder aktiver Erholung während der Nachbelastungsphase (post 0-30) (mod. nach Kappenstein et al., 2015).

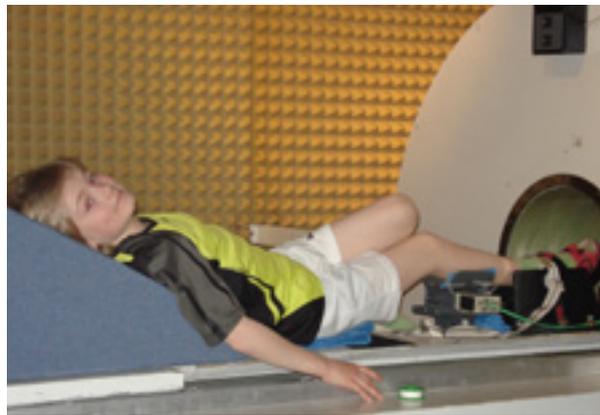
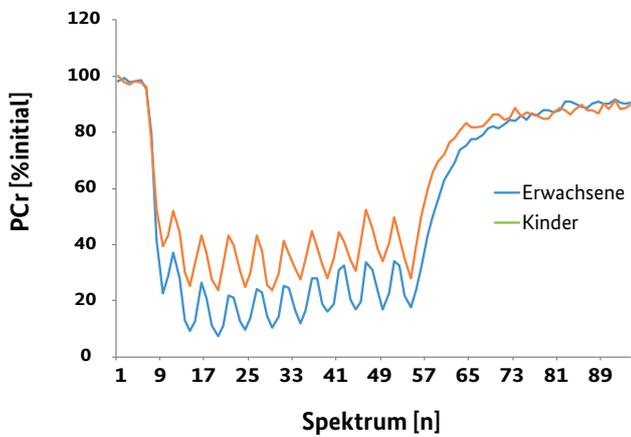


Abb. 8.2: Relative Veränderungen (bezogen auf die Ausgangskonzentration in Ruhe) der Kreatinphosphatkonzentration in der Muskelzelle bei intensiver Intervallbelastung von 16 Kindern (grün) und 16 Erwachsenen (blau) mittels 31P-MRS (mod. nach Kappenstein et al., 2013).

Als Begründung für die altersbezogenen Unterschiede lassen sich Ergebnisse einer Studie mit 31P-MRS Analyse (Magnetresonanzspektroskopie) heranziehen. Kinder und Erwachsene absolvierten innerhalb des MRS-Gerätes mit einem Bein intervallförmige dynamische Plantarflexionen gegen einen Widerstand von 80 % des 1 RM über eine Dauer von 30 s, unterbrochen durch eine Pause von 20 s (Abb. 8.2, rechts). Bei identischen Ausgangswerten (KP und ATP) zeigte sich ein geringerer Abfall von Kreatinphosphat (KP) bei den Kindern, speziell während der ersten zwei bis drei Intervalle. Nach Belastungsende wurden die Ausgangskonzentrationen schneller wiederhergestellt (Kappenstein et al., 2013) (Abb. 8.2, links). Dass Kinder bei Kurzzeitinter-

vallen schneller regenerieren als Erwachsene, konnte durch weitere Studien bestätigt werden (Beneke et al., 2007; Ratel et al., 2006; Zanconato, Buchthal, Barstow & Cooper, 1993).

Altersbedingte Unterschiede zeigten sich auch bei der Notwendigkeit von Regenerationsinterventionen. Eine aktive Erholung („Auslaufen“) ergab bei Kindern keine nennenswerten objektiven und subjektiven Vorteile (Abb. 8.1). Zur Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit am Folgetag sind auch andere Regenerationsverfahren (z. B. Kälteanwendungen) nicht zwingend erforderlich, da durch das niedrige Körpergewicht und die geringe Muskelmasse selbst bei reaktiven Belastungen keine größeren Muskelschäden

auftreten. Am Folgetag nach einem intensiven Intervallsprintprotokoll (4 Serien a 12 Maximalsprints über 5 s Dauer) lagen die mittleren CK-Konzentrationen der zehn Kinder ($171,2 \pm 52,4$ U/l) deutlich unter jenen der Erwachsenen ($778,3 \pm 657,6$ U/l).

Regenerationsmanagement bei Älteren

Vieles deutet darauf hin, dass die Regenerationsfähigkeit mit zunehmendem Alter abnimmt. In einem Übersichtsartikel von Fell und Williams (2008) werden als zugrundeliegende Mechanismen eine höhere Anfälligkeit „älterer“ Muskeln für trainingsinduzierte Skelettmuskelschäden und/oder auch langsamere Reparatur- und Anpassungsreaktionen benannt. Jedoch kritisieren die Autoren, dass bei den bisherigen Studien neben dem Altersunterschied stets auch eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit zwischen Jüngeren und Älteren die Ergebnisse beeinflusst haben mag.

In Abbildung 8.3 wird der hypothetisch veränderte Regenerationsverlauf im Alter in Anlehnung an Fell und Williams (2008) veranschaulicht. Dabei wird bei älteren Sportlern ein höherer trainingsinduzierter Muskelschaden (rote Linie) oder eine Verlangsamung der Reparatur- und Anpassungsmechanismen (blaue Linie) oder beides (braune Linie) im Vergleich zu jüngeren Sportlern (schwarze Linie) angenommen. Danach müsste bei vergleichbarem Trainingszustand ein älterer Sportler eine längere Regenerationsphase einhalten als ein jüngerer Sportler und bei gleicher Trainingsbelastung müsste der ältere Sportler eine größere Muskelschädigung erfahren, wodurch sich wiederum ein längerer Regenerationsbedarf ergäbe. Diese theoretischen Überlegungen sind jedoch bislang unzureichend durch Studien abgesichert, bei denen die altersbedingt unterschiedliche körperli-

che Leistungsfähigkeit als eine konfundierende Variable angemessen berücksichtigt wurde.

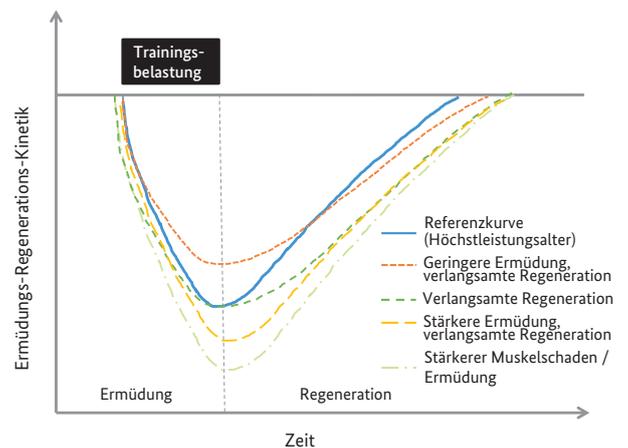


Abb. 8.3: Theoretisches Modell zu unterschiedlichen Zeitverläufen der Ermüdungs-Regenerations-Kinetik älterer Sportler (farbige Linien) im Vergleich zu jüngeren Sportlern (schwarze Linie) nach einer intensiven Trainingsbelastung (modifiziert nach Fell & Williams, 2008).

Für eine Verlängerung der Erholungszeit im Alter werden verschiedene physiologische Mechanismen angeführt, die zum Teil auch mit entsprechenden Befunden belegt sind. Eine abnehmende Proteinsyntheserate lässt sich bei älteren männlichen Sportlern durch eine individuell unterschiedlich nachlassende Testosteronbildung bzw. bei Frauen durch eine nachlassende Androgenbildung mit Abnahme des Östrogens erklären (Hakkinen, Pakarinen, Kraemer, Newton & Alen, 2000). Die altersbedingte Abnahme von anabol wirkenden Androgenen (gonadale Steroide) führt zur Rückbildung der Muskelfasergröße und zum Anstieg des Körperfetts. Dies hat wiederum eine Abnahme der Muskelkraft zur Folge (Finkelstein, Lee, Burnett-Bowie, Pallais, Yu, Borges & Leder, 2013). Auch die maximale Sauerstoffaufnahme nimmt sowohl bei Untrainierten als auch bei trainierten Alterssportlern ab, nur bei Letzteren erfolgt eine vergleichbare Abnahme aufgrund der erhöhten Leistungsfähigkeit von einem höheren Niveau und erreicht nicht die niedrigen Werte

Untrainierter (Hawkins & Wiswell, 2003). Nach Hall, Mazzeo, Podolin, Cartee und Stanley (1994) nehmen auch die Glukosetransporter (GLUT-4) mit zunehmendem Alter ab, wodurch der Glukosetransport verringert und die Regeneration verlangsamt wird.

Zusammenfassend scheint sehr wahrscheinlich, dass Alterungsvorgänge einen vielfältigen Einfluss auf die Regenerationskinetik besitzen. Es stellt sich jedoch die Frage, zu welchem Zeitpunkt im Altersgang die beschriebenen Mechanismen das Regenerationsmanagement nachhaltig beeinflussen und in welchem Maße sportliches Training und damit die Aufrechterhaltung der körperlichen Leistungsfähigkeit den altersbedingten Veränderungen entgegenwirken kann. Ferner besteht Klärungsbedarf dahingehend, ob sich auch die Wirksamkeit von Regenerationsinterventionen im Altersgang verändert. Möglicherweise nimmt die Wirksamkeit von regenerativen Maßnahmen wie Kaltwasserimmersion und Kompressionskleidung bei den mit zunehmendem Alter vermehrt auftretenden ultrastrukturellen Muskelschäden zu (Hauswirth & Mujika, 2013).

In einer ersten Pilotstudie wurde der Einfluss eines exzentrisch akzentuierten Krafttrainings bis zum absoluten Muskelversagen auf physiologische, neuromuskuläre, psychometrische und leistungsdiagnostische Marker im Erholungsverlauf untersucht. Probanden waren krafttrainingserfahrene Sportler unterschiedlichen Alters (Männer der Altersklassen M20 und M50), aber identischer dynamischer Maximalkraft (1 RM) bei der gewählten Trainingsform „Parallelkniebeuge“. Ferner wurde der Effekt einer belastungsgemessenen Regenerationsintervention (Kaltwasserimmersion gefolgt von Kompression) auf den Erholungsverlauf gegenüber einer passiven Kontrollbedingung im Cross-over-Design überprüft. Die Kaltwasserimmersion (15 min bei 12-15 °C) wurde unmittelbar nach Trainingsende durchgeführt und anschließend maßangefertigte

Kompressionsstrümpfe über einen Zeitraum von zwei Tagen getragen.

Erste deskriptive Ergebnisse zeigen, dass die Kreatinkinasekonzentration (CK) in beiden Altersklassen im Mittel einen vergleichbaren zeitlichen Verlauf, jeweils mit einem Peak nach 24 Stunden, aber keine erkennbare Interventionsabhängigkeit aufweist. In der Altersklasse M50 ergeben sich jedoch durchgängig niedrigere CK-Werte gegenüber der Altersklasse M20 (Abb. 8.4). Die Ergebnisse zum subjektiven Schmerzempfinden zeigen einen unterschiedlichen Trend im zeitlichen Verlauf (Abb. 8.5). Ausgehend von höheren Nachbelastungswerten der Altersklasse M20 klingt deren Schmerzempfinden bis zum Folgetag rascher ab und wird im Gegensatz zur Altersklasse M50 positiv von der Regenerationsintervention beeinflusst.

Diese ersten Befunde deuten auf einen Alterseffekt in der Regenerationskinetik hin. Möglicherweise belasten sich ältere Sportler motivational oder kompensatorisch bedingt weniger stark aus oder die geringere Muskelmasse besitzt einen Einfluss. In den zwei Folgetagen scheint die Regeneration trotzdem leicht verzögert zu sein. Bezogen auf Abbildung 8.3 entspräche dies dem grün dargestellten Kurvenverlauf: „geringere Ermüdung + verlangsamte Regeneration“. Inwieweit dieser auch bereits innerhalb der engeren Altersspanne im Hochleistungssport (z. B. 20 - 40 Jahre) nachweisbar ist, soll zukünftig untersucht werden.

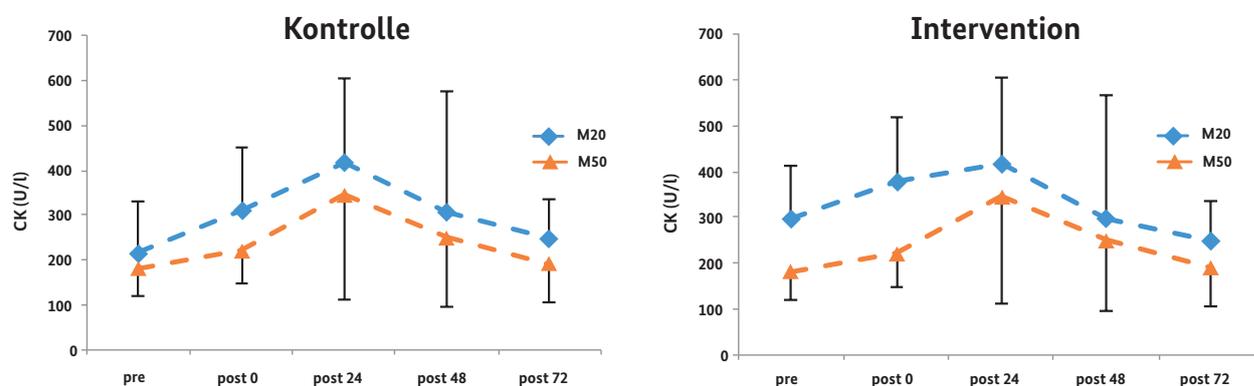


Abb. 8.4: Verlauf der Kreatinkinasekonzentration in den Altersklassen M20 und M50 vor und nach einem intensiven exzentrischen Krafttraining ohne (links) und mit Regenerationsintervention (Kaltwasser und Kompression, rechts).

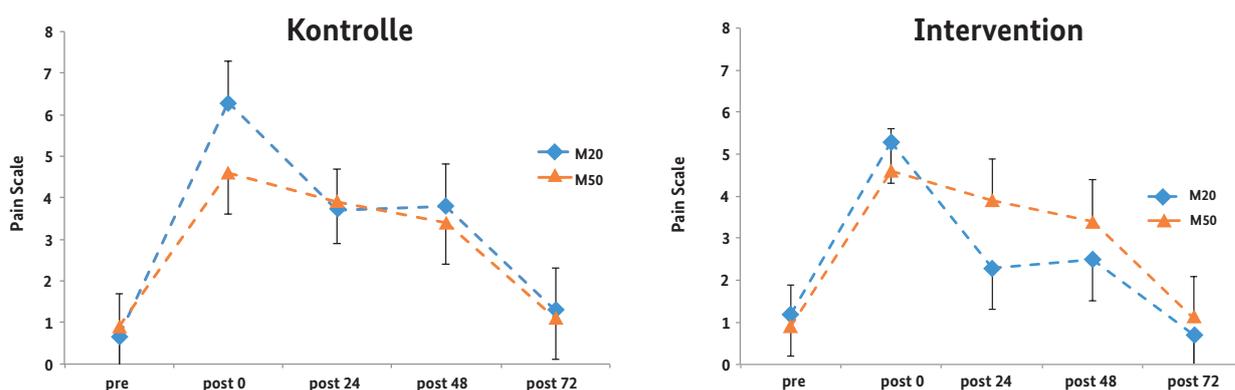


Abb. 8.5: Verlauf des subjektiven Schmerzempfindens (Pain Scale) in den Altersklassen M20 und M50 vor und nach einem intensiven exzentrischen Krafttraining ohne (links) und mit Regenerationsintervention (Kaltwasser und Kompression, rechts).

Handlungsempfehlungen für die Praxis

Bei der Festlegung von Regenerationsinterventionen scheint das Athletenalter ein zusätzlich zu berücksichtigender Einflussfaktor zu sein. Im Kindesalter ist eine außergewöhnlich schnelle Regeneration auch nach intensiver Intervallbelastung gegeben und es treten keine nennenswerten Muskelschädigungen auf. Bei älteren Sportlern werden nach intensiver Trainingsbelastung

zwar niedrige Kreatinkinasekonzentrationen gemessen, jedoch scheint der absolute Erholungsbedarf der Älteren gegenüber den Jüngeren leicht verlängert zu sein.

Regenerationsmaßnahmen zur muskulären Wiederherstellung sind folglich im Kindesalter weniger bedeutsam als bei erwachsenen Sportlerinnen und Sportlern. Auf Kälteanwendungen, Kryotherapie und Kompression kann bei Kindern verzichtet werden, da keine nachweisbaren Effekte auf die Regeneration zu erwarten sind.

Literatur

- Beneke, R., Hütler, M. & Leithäuser, R. M. (2007). Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 671-677.
- Fell, J. & Williams, A. D. (2008). The effect of aging on skeletal-muscle recovery from exercise: Possible implications for aging athletes. *Journal of Aging and Physical Activity*, 16(1), 97-115.
- Finkelstein, J. S., Lee, H., Burnett-Bowie, S. A. M., Pallais, J. C., Yu, E. W., Borges, L. F. & Leder, B. Z. (2013). Gonadal steroids and body composition, strength, and sexual function in men. *The New England Journal of Medicine*, 369(11), 1011-1022.
- Hakkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., Newton, R. U. & Alen, M. (2000). Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *Journals of Gerontology-Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(2), B95.
- Hall, J. L., Mazzeo, R. S., Podolin, D. A., Cartee, G. D. & Stanley, W. C. (1994). Exercise training does not compensate for age-related decrease in myocardial GLUT-4 content. *Journal of Applied Physiology*, 76(1), 328-332.
- Hauswirth, C. & Mujika, I. (Eds.). (2013). *Recovery for performance in sport*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hawkins, S. A. & Wiswell, R. A. (2003). Rate and mechanism of maximal oxygen consumption decline with aging. *Sports Medicine*, 33(12), 877-888.
- Hebestreit, H., Mimura, K. L. & Bar-Or, O. (1993). Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: Comparing boys and men. *Journal of Applied Physiology*, 74(6), 2875-2880.
- Kappenstein, J., Fernández-Fernández, J., Engel, F. & Ferrauti, A. (2015). Effects of active and passive recovery on blood lactate and blood pH after a repeated sprint protocol in children and adults. *Pediatric Exercise Science*, 27(1), 77-84.
- Kappenstein, J., Ferrauti, A., Runkel, B., Fernandez-Fernandez, J., Müller, K. & Zange, J. (2013). Changes in phosphocreatine concentration of skeletal muscle during high-intensity intermittent exercise in children and adults. *European Journal of Applied Physiology*, 113(11), 2769-2779.
- Ratel, S., Bedu, M., Hennegrave, A., Dore, E. & Duche, P. (2002). Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. *International Journal of Sports Medicine*, 23(6), 397-402.
- Ratel, S., Duche, P. & Williams, C. A. (2006). Muscle fatigue during high-intensity exercise in children. *Sports Medicine*, 36(12), 1031-1065.
- Van Praagh, E. & Doré, E. (2002). Short-term muscle power during growth and maturation. *Sports Medicine*, 32(11), 701-728.
- Zanconato, S., Buchthal, S., Barstow, T. J. & Cooper, D. M. (1993). ³¹P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *Journal of Applied Physiology*, 74(5), 2214-2218.

9 Allgemeine Empfehlungen zur Anwendung von Regenerationsmaßnahmen

Alexander Ferrauti & Mark Pfeiffer

9



Im Rahmen von REGman wurden zahlreiche Interventionsstudien zu verschiedenen regenerativen Maßnahmen mit einheitlicher Methodik durchgeführt unter der Zielsetzung, deren Effekte im Spitzensport zu untersuchen. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die Wirksamkeit der in der Praxis gängigen Regenerationsverfahren zur Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit gruppenstatistisch nicht überzeugend und selten mit hoher Effektstärke nachweisbar ist. Dies gilt in Ermangelung ausreichend großer und homogener Stichproben insbesondere für experimentelle

Studien im Hochleistungssport. Damit stimmen die REGman-Befunde mit anderen Originalarbeiten und insbesondere Metanalysen weitgehend überein. Bei genauerer Betrachtung lassen sich jedoch auf individueller Ebene vereinzelt Effekte abbilden. So sind in vielen Untersuchungen einzelne Athleten auffällig (Abb. 9.1, grün), die durch die verwendeten Maßnahmen gegenüber einer Kontrollsituation (meist passive Erholung) Vorteile erzielen (Responder) und bei denen sich diese positiven Effekte bei mehrfacher Anwendung wiederholt zeigen (reproduzierbare Responder) (Kapitel 6).

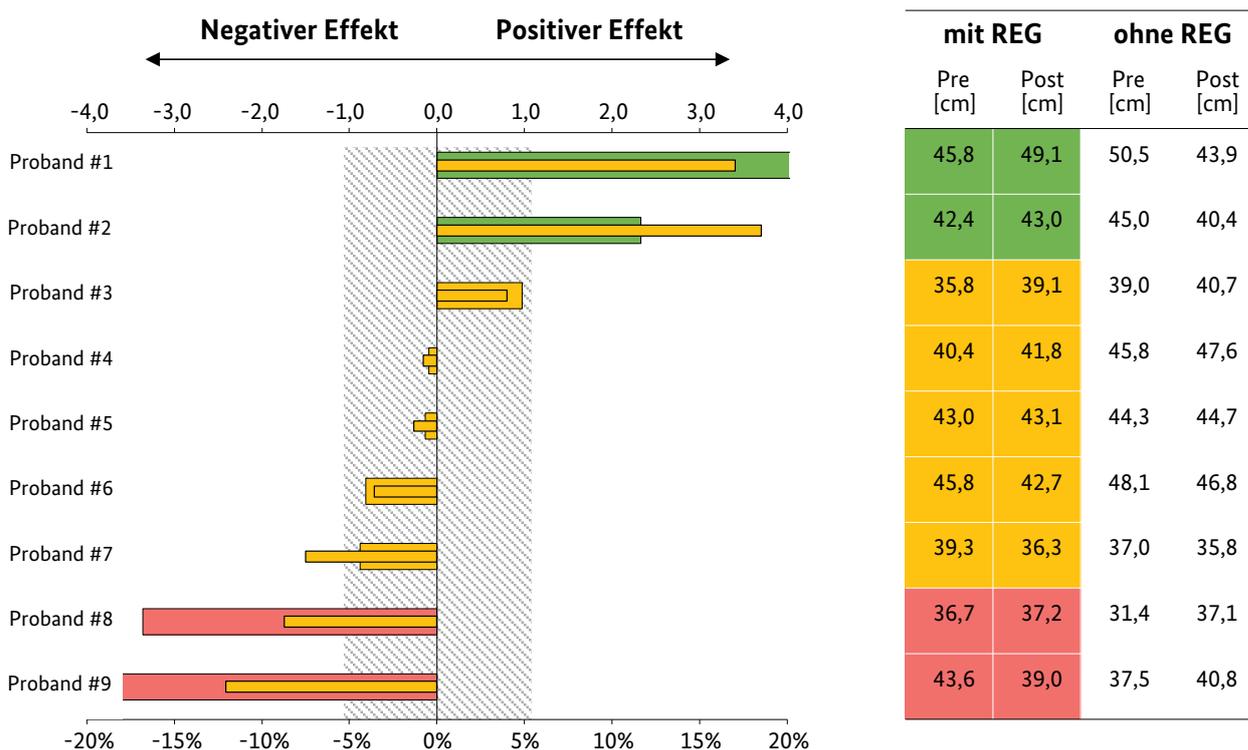


Abb. 9.1: Beispiel für Berechnung und Darstellung der individuellen Response auf eine Regenerationsintervention. Hierzu kann die Effektstärke einer Regenerationsintervention (obere Achse, graue Balken) oder die prozentuale Nettodifferenz (untere Achse, bunte Balken) im Vergleich zum Kontrollversuch ohne Intervention verwendet werden. Individuell zufällige Effekte (grauer Indifferenzbereich, gelbe Balken), überzufällig positive Effekte (grün) und nachteilige Effekte (rot) auf die Sprungleistung im Counter Movement Jump am Folgetag gegenüber einer passiven Kontrollintervention werden für jeden der 9 Sportler farblich markiert dargestellt. Nur bei Proband #1 und #2 wirkte sich die Regeneration positiv auf die Leistungsentwicklung aus.

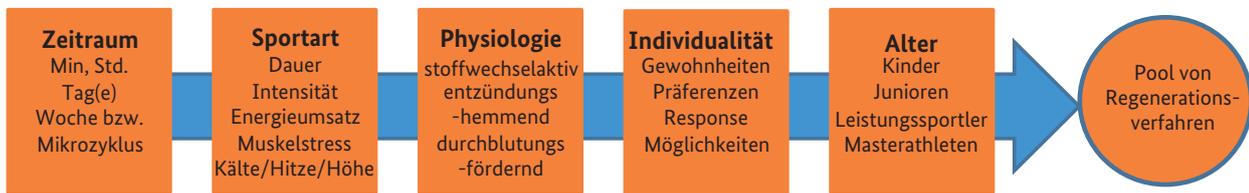


Abb. 9.2: Entscheidungsebenen zur sportartspezifischen und individuellen Festlegung von Regenerationsmaßnahmen.

Für die Entscheidungsträger im Leistungssport lassen sich hieraus keine grundsätzlichen und für alle Athleten verschiedener Sportarten und Regenerationsszenarien gleichermaßen gültigen Empfehlungen formulieren. Vielmehr bieten sich Freiheiten und Handlungsspielräume, die je nach individueller Bedürfnislage und spezifischem Anwendungsfeld sinnvoll gefüllt werden können. Wenig spricht dafür, eine große Gruppe von Leistungssportlern ohne Berücksichtigung der Individualität einem fixen Regenerationsregime zu unterziehen. Um in der konkreten sportpraktischen Situation aus dem verfügbaren Pool an Interventionen eine angemessene Auswahl für jeden Sportler zu treffen, kann ein systematischer Zugang unter Berücksichtigung verschiedener Entscheidungsebenen verfolgt werden (Abb. 9.2).

Berücksichtigung des Zeitraums

Es gilt zunächst den Zeitraum festzulegen, in dem die Erholungs- bzw. Anpassungsvorgänge stattfinden und abgeschlossen sein sollten. Dieser kann Sekunden oder Minuten (z. B. zwischen zwei Wiederholungen oder zwischen zwei Serien beim Intervalltraining), einige Stunden (z. B. zwischen zwei Trainingseinheiten oder Wettkampfabschnitten an einem Tag), die Nacht-

ruhe (z. B. im Trainingslager oder während eines Turniers), eine Woche (z. B. beim klassischen Mikrozyklus in den Mannschaftsspielen) oder sogar mehrere Wochen (ein ganzer Mesozyklus oder die Taperphase danach) betragen. Aus der Vielzahl an Zeiträumen werden nachfolgend exemplarisch Empfehlungen für die Regeneration (1.) am Wettkampf- oder Trainingstag, (2.) über Nacht und (3.) im Mikrozyklus über eine Woche gegeben (Abb. 9.3).

1. Regeneration am Wettkampf- oder Trainingstag:

In den kurzen Intervallpausen ist bei maximaler Intensität (z. B. Intervallsprints oder Maximalkrafttraining) eher eine passive Erholung empfehlenswert, bei submaximaler oder moderater Intensität und sowie zu Beginn einer längeren Serienpause kann hingegen eine aktive Erholung, ggf. unterstützt durch psychologische Verfahren erfolgen. In den Stunden zwischen zwei Trainingseinheiten oder Wettkämpfen ist zusätzlich auf eine angemessene Flüssigkeits-/Kohlenhydratsupplementation zu achten und es kann zusätzlich je nach den infrastrukturellen Gegebenheiten eine kurze Ruhephase eingelegt werden. Vor der erneuten Belastung ist eine ausführliche Re-Aktivierung einzuplanen (z. B. Foam-Rolling gefolgt von einem allgemeinen und sportartspezifischen Warm-up) (Abb. 9.3).

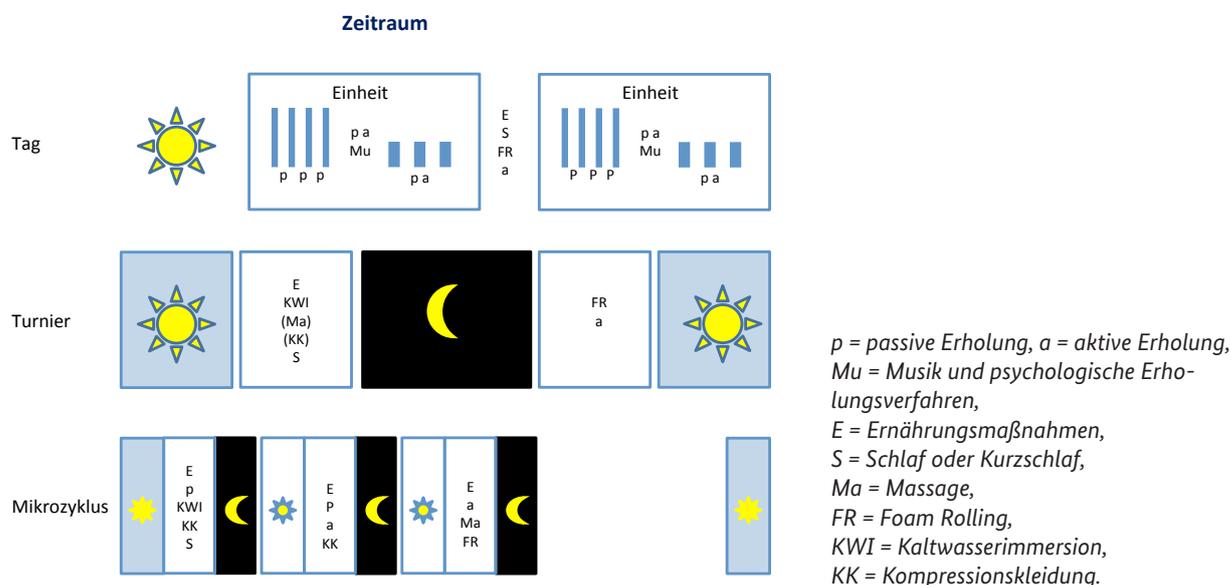


Abb. 9.3: Beispiele für Regenerationszeiträume: Am Trainings- oder Wettkampftag während Intervallpausen, Serienpausen oder Trainingseinheiten bzw. Wettkämpfen (oben), im Turnierverlauf oder während eines Trainingslagers mit Regenerationsbedarf über Nacht bis zum Folgetag (Mitte), während eines Mikrozyklus mit Leistungsanforderungen am Wochenende und einem Regenerationszeitraum von einer Woche (unten).

2. Regeneration über Nacht (z. B. in einem Turnier):

Der Wettkampftag endet mit Ernährungsmaßnahmen und speziell nach hohen neuromuskulären Beanspruchungen, wenn möglich mit einer Kaltwasserimmersion. Auch eine Massage sollte den Athleten, die diese für wichtig erachten, keinesfalls verwehrt werden. Anschließend sollte ausreichender und nach Möglichkeit qualitativ guter Schlaf (ggf. Maßnahmen der Schlafhygiene) die Nachtruhe prägen. Eine Kompressionskleidung kann über Nacht oder beim Transfer zwischen Wettkampfstätte und Hotel hilfreich sein, sofern die Schlafqualität darunter nicht leidet. In jedem Fall sind am folgenden Wettkampftag ausführliche reaktivierende Maßnahmen erforderlich; hier besitzt auch Foam-Rolling eine leistungsstimulierende und schmerzsenkende Wirkung (Abb. 9.3).

3. Mikrozyklus:

Eine typische Wettspielwoche in den Mannschaftssportspielen (z. B. Samstagsspiele in der Fußball-Bundesliga) sollte nach Spielende speziell bei hochintensiver Belastung und der Gefahr von ultrastrukturellen Muskelschäden eher eine passive Erholung mit Kälteintervention, Kompression und Nahrungszufuhr, gefolgt von gutem Schlaf vorsehen. Selbstverständlich sind nach geringeren Belastungen und für die Auswechselspieler ebenfalls aktive Verfahren möglich. Eigene Befunde sprechen bei starken Muskelschmerzen gegen eine zu frühe Anwendung von aktiver Erholung, so dass das passive Protokoll auch noch auf den Folgetag ausgeweitet werden kann. In diesem Fall erfolgt erst am zweiten Nachbelastungstag eine erneute moderate Reaktivierung (Abb. 9.2 und 9.5). Grundsätzlich ist eine sinnvolle Verteilung von aktiven und passiven Erholungsmaßnahmen vom Beschwerdestatus abhängig und in Absprache mit den Athleten und Athletinnen abzustimmen.

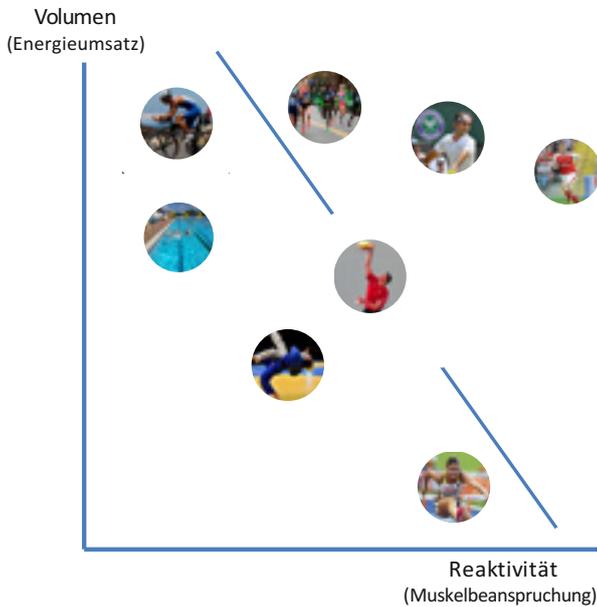


Abb. 9.4: Beispiele für Sportarten mit unterschiedlichen Belastungsvolumina und neuromuskulärem Load im Wettkampf. Der muskuläre Regenerationsbedarf liegt rechts der Trennlinie höher.

Berücksichtigung der Sportartspezifität

Auf der zweiten Entscheidungsebene ist das Belastungs- und Beanspruchungsprofil der jeweiligen Sportart in den Entscheidungsprozess einzubeziehen (Abb. 9.4, Kapitel 7). So verlangen sowohl hochvolumige (umfangsintensive), ausdauerorientierte Sportarten (z. B. Langstreckenlauf) als auch neuromuskulär belastende reaktive und schnellkraftorientierte Sportarten (z. B. Volleyball) bzw. kombiniert hochvolumige und reaktive Sportarten (z. B. Tennis und Fußball) eine besondere Aufmerksamkeit. Aber auch geringvolumige und muskulär wenig belastende Sportarten mit hoher mentaler Belastung erfordern ein angemessenes Regenerationsinventar. Die Umgebungsbedingungen sind stets zu berücksichtigen. So wird der Einsatz von Kälte in den Wintersportarten und von Kaltwasserimmersion für Schwimmer nur selten auf Akzeptanz stoßen und physiologisch kaum begründbar sein.

Immer, wenn von umfangreichen strukturellen Schäden der Muskulatur ausgegangen werden kann (Abb. 9.4, rechts der Trennlinie), empfehlen sich kurzfristig eher Kälteanwendungen und/oder Kompression. Bei hohen energetischen Umsätzen (z. B. im Radsport) steigt die Bedeutung von Ernährungsmaßnahmen an. Bei geringen energetischen Umsätzen und geringerer muskulärer Beanspruchung sind alle Formen der aktiven Regeneration möglich. Bei hohen kognitiven Belastungen (z. B. Schießsport) nehmen möglicherweise psychologische Regenerationsverfahren an Bedeutung zu.

Berücksichtigung von Physiologie und Evidenz

Hinsichtlich der physiologischen Plausibilität existieren trotz der insgesamt geringen Effekte einige grundsätzliche Leitlinien, die in den Entscheidungsprozess einfließen sollten. So ist von einem Einsatz von Kälte bei sehr kurzfristigen Erholungszeiträumen (Minuten oder Stunden zwischen zwei Wettkämpfen oder Trainingseinheiten) unbedingt abzusehen. Hier sind psychologische Entspannungsverfahren (z. B. Atemregulationsübungen) sowie gleichzeitig aktivierende und entspannende physiotherapeutische Interventionen (z. B. Massage, Foam-Rolling, aktive Erholung) nach unseren Befunden Mittel der Wahl. Bei hohen metabolischen Umsätzen und hohem Flüssigkeitsverlust sind entsprechende Ernährungsmaßnahmen zwingend erforderlich. Hierbei steht die Aufnahme von Kohlenhydraten in Kombination mit einer angemessenen Proteinzufuhr im Vordergrund. Insbesondere nach Schnellkraftbeanspruchungen, wenn Mikroschädigungen der Muskulatur, Muskelschmerzen und nachfolgende Entzündungsreaktionen zu befürchten sind, und eine ausreichende Zeitdauer bis zur erneuten Belastung gegeben ist (z. B. über Nacht) ist eine Kälteapplikation (z. B. „Eistonne“) anzuraten. Sollte

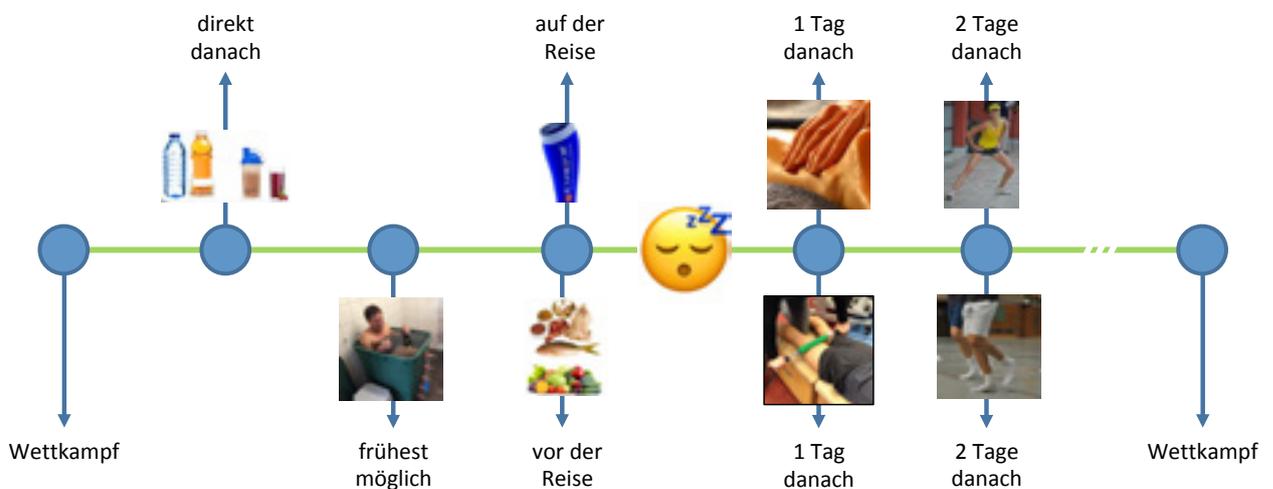


Abb. 9.5: Infographik zur zeitlich angemessenen Abfolge von Interventionen bei Erholungszeiträumen über mehrere Tage.

sich ein ausreichend langer Erholungszeitraum anschließen (z. B. Mikrozyklus zwischen zwei Spieltagen der Fußball-Bundesliga) kann der Kälteanwendung eine 1-2 tägige Kompression (zumeist Stützstrümpfe) als Schutz gegen weitere muskelmechanische Störungen folgen (z. B. während der An- oder Abreise), bevor nach 1-3 Tagen (je nach Schweregrad der Muskelschmerzen) mittels aktiver Maßnahmen (z. B. Wärme, Massage, moderate Bewegung) eine kontrollierte Reaktivierung erfolgt (Abb. 9.5).

Berücksichtigung der individuellen Gewohnheiten

Bei der Festlegung von Regenerationsverfahren sind die individuellen Bedürfnisse und Vorlieben ebenso zu berücksichtigen, wie deren unterschiedliche Wirksamkeit (Response) (Kapitel 6). „Neue“ bzw. ungewohnte Verfahren sind daher unter Trainingsbedingungen zunächst auf ihre individuellen Reaktionen zu prüfen, bevor sie unter offiziellen Wettkampfbedingungen eingesetzt werden. Bei der Festlegung von Regenerationsinterventionen sollte man auch eine mögliche positive Placebowirkung akzeptieren. Für

die Wettkampfsituation sind individuelle Regenerationsroutinen mit jedem Athleten frühzeitig zu vereinbaren. Von zu umfangreichen Vorgehensweisen ist abzuraten, da diese den Gestaltungsraum individuell-naiver Erholungsstrategien des Athleten (z. B. Fernsehen, Internet oder einfach nur „chillen“) einschränken.

Berücksichtigung des Athletenalters

Der Einfluss des Athletenalters auf Regenerationsbedarf und Regenerationsvermögen ist von hoher Praxisrelevanz, da in zahlreichen Sportarten bereits im Kindes- und Jugendalter leistungsorientiert trainiert wird und daran anschließend das aktive Hochleistungsalter eine Zeitspanne von bis zu 20 Jahren umfasst. Folglich müssen in Kaderstrukturen und Sportspielmannschaften altersheterogene Athleten angemessen betreut werden. Während der Regenerationsbedarf im Kindes- und Jugendalter deutlich geringer ist (U15/17), steigen Regenerationsbedarf und Regenerationsdauer im höheren Athletenalter (Ü30/35) an (Kapitel 8).

REGman-Publikationen (2016-2019)

Stand: 20.01.2020



In Press

Hof zum Berge, A., Kellmann, M., Kallweit, U., Mir, S., Gieselmann, A., Meyer, T., Ferrauti, A., Pfeiffer, M. & Kölling, S. (in press). Portable PSG for sleep stage monitoring in sports: Assessment of SOMNOwatch plus EEG. *European Journal of Sport Science*.

Skorski, S., Schimpchen, J., Pfeiffer, M., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Meyer, T. (in press). Effects of post-exercise sauna bathing on recovery of swim performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

2019

Barth, V.N., Käsbauer, H., Ferrauti, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M., Hecksteden, A. & Meyer, T. (2019). Individualized monitoring of muscle recovery in elite badminton. *Frontiers in Physiology*, 10, 778.

Kölling, S., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2019). Modification and applicability of questionnaires to assess the recovery-stress state among adolescent and child athletes. *Frontiers in Physiology*, 10, 1414.

Loch, F., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2019). Resting the mind – A novel topic with scarce insights. Considering potential mental recovery strategies for short rest periods in sports. *Performance Enhancement & Health*, 6, 148-155.

Schneider, C., Wiewelhove, T., Raeder, C., Flatt, A.A., Hoos, O., Hottenrott, L., Schumbera, O., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2019). Heart rate variability monitoring during strength and high-intensity interval training overload microcycles. *Frontiers in Physiology*, 10, 582.

Wiewelhove, T., Döweling, A., Schneider, C., Hottenrott, L., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2019). A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Frontiers in Physiology*, 10, 376.

2018

Collette, R., Kellmann, M., Ferrauti, A., Meyer, T. & Pfeiffer, M. (2018). Relation between training load and recovery-stress state in high-performance swimming. *Frontiers in Physiology*, 9, 845.

Meyer, T., Skorski, S., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A., & Hecksteden, A. (2018). Regenerationsmanagement im Sport. *Sportphysio*, 6(1), 24–32.

Pelka, M., Schneider, P. & Kellmann, M. (2018). Development of pre- and post-match morning recovery-stress states during in-season weeks in elite youth football. *Science and Medicine in Football*, 2, 127-132.

Schneider, C., Hanakam, F., Wiewelhove, T., Döweling, A., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2018). Heart rate monitoring in team sports – A conceptual framework for contextualizing heart rate measures for training and recovery prescription. *Frontiers in Physiology*, 9, 639.

- Wiewelhove, T., Schneider, C., Döweling, A., Hanakam, F., Rasche, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2018). Effects of different recovery strategies following a half-marathon on fatigue markers in recreational runners. *PLoS ONE*, 13(11), e0207313.
- Wiewelhove, T., Schneider, C., Schmidt, A., Döweling, A., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2018). Active recovery after high-intensity interval-training does not attenuate training adaptation. *Frontiers in Physiology*, 9, 415.
- ## 2017
- Hecksteden, A., Pitsch, W., Julian, R.A., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A. & Meyer, T. (2017). A new method to individualize monitoring of muscle recovery in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1137-1142.
- Hitzschke, B., Wiewelhove, T., Raeder, C., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., Kellmann, M. & Kölling, S. (2017). Evaluation of psychological measures for the assessment of recovery and stress during a shock-microcycle in strength and high-intensity interval training. *Performance Enhancement & Health*, 5(4), 147-157.
- Julian, R.A., Meyer, T., Fullagar, H.H.K., Skorski, S., Kellmann, M., Pfeiffer, M., Ferrauti, A. & Hecksteden, A. (2017). Individual patterns in blood-borne indicators of fatigue – Trait or chance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31, 608-619.
- Kölling, S., Treff, G., Winkert, K., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2017). The effect of westward travel across five time-zones on sleep and subjective jet-lag ratings in athletes before and during the 2015's World Rowing Junior Championships. *Journal of Sports Sciences*, 35, 2240-2248.
- Nässi, A., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2017). Development of two short measures for recovery and stress in sport. *European Journal of Sport Science*, 17(7), 894-903.
- Nässi, A., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2017). Psychological tools used for monitoring training responses of athletes. *Performance Enhancement & Health*, 5(4), 125-133.
- Pelka, M., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2017). How does a short, interrupted recovery break affect performance and how is it assessed? A study on acute effects. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl. 2), 2114-2121.
- Pelka, M., Kölling, S., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Kellmann, M. (2017). Acute effects of psychological relaxation techniques between two physical tasks. *Journal of Sports Sciences*, 35, 216-223.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Schneider, C., Döweling, A., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2017). Effects of active recovery following high-intensity training sessions on muscle function in elite Olympic weightlifters. *Advances in Skeletal Muscle Function Assessment*, 1(1), 3-12.

- Schimpchen, J., Wagner, M., Ferrauti, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Meyer, T. (2017). Can cold water immersion enhance recovery in elite Olympic weightlifters? An individualized perspective. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(6), 1569-1576.
- Zinner C., Pelka, M., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Sperlich, B. (2017). Responses of low and high compression during recovery after repeated sprint training in well trained handball players. *European Journal of Sport Science*, 17(10), 1304-1310.
- ## 2016
- de Paula Simola, R.A., Raeder, C., Wiewelhove, T., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2016). Muscle mechanical properties of strength and endurance athletes and changes after one week of intensive training. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 30, 73-80.
- Fullagar, H.H., Duffield, R., Skorski, S., White, D., Bloomfield, J., Kölling, S. & Meyer, T. (2016). Sleep, travel and recovery responses of national footballers during and following long-haul international air travel. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 86-95.
- Hammes, D., Skorski, S., Schwindling, S., Ferrauti, A., Pfeiffer, M., Kellmann, M. & Meyer, T. (2016). Can the Lamberts and Lambert submaximal cycle test (LSCT) indicate fatigue and recovery in trained cyclists? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(3), 328-336.
- Hecksteden, A., Leidinger, P., Backes, C., Rheinheimer, S., Pfeiffer, M., Ferrauti, A., Kellmann, M., Sedaghat, F., Meder, B., Meese, E., Meyer, T. & Keller, A. (2016). miRNAs and sports: Tracking training status and potentially confounding diagnoses. *Journal of Translational Medicine*, 14, 219.
- Hecksteden, A., Skorski, S., Schwindling, S., Hammes, D., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A. & Meyer, T. (2016). Blood-borne markers of fatigue and recovery in competitive athletes – Results from a simulated training camp. *PLOS ONE*, 11(2), e0148810.
- Hitzschke, B., Holst, T., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2016). Entwicklung des Akutmaßes zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport. *Diagnostica*, 62(4), 212-226.
- Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (2016). *Das Akutmaß und die Kurzskala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport – Manual*. Hellenthal: Sportverlag Strauß.
- Kölling, S., Endler, S., Ferrauti, A., Meyer, T. & Kellmann, M. (2016). Comparing subjective with objective sleep parameters via multi-sensory actigraphy in physical education students. *Behavioral Sleep Medicine*, 14, 389-405.
- Kölling, S., Ferrauti, A., Pfeiffer, M., Meyer, T. & Kellmann, M. (2016). Sleep in sports: A short summary of alterations in sleep/wake patterns and the effects of sleep loss and jet-lag. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 67, 35-38.
- Kölling, S., Pfeiffer, M., Meyer, T., Ferrauti, A. & Kellmann, M. (2016). Psychometrische Erholungsdiagnostik im Leistungssport. *Leistungssport*, 46(4), 22-25.

- Kölling, S., Steinacker, J.M., Endler, S., Ferrauti, A., Meyer, T. & Kellmann, M. (2016). The longer the better: Sleep/wake patterns during preparation of the World Rowing Junior Championships. *Chronobiology International*, 33(1), 73-84.
- Kölling, S., Wiewelhove, T., Raeder, C., Endler, S., Ferrauti, A., Meyer, T. & Kellmann, M. (2016). Sleep monitoring of a six-day microcycle in strength and high-intensity training. *European Journal of Sport Science*, 16, 507-515.
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Pelka, M., Heidari, J., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2016). Relaxation techniques in sports: A systematic review on acute effects on performance. *Performance Enhancement & Health*, 5(2), 47-59.
- Poppendieck, W., Wegmann, M., Ferrauti, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Meyer, T. (2016). Massage and performance recovery: A meta-analytical review. *Sports Medicine*, 46, 183-204.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., de Paula Simola, R.A., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2016). Assessment of fatigue and recovery in male and female athletes following six Days of intensified strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3412-3427.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Westphal-Martinez, M.P., Fernandez-Fernandez, J., De Paula Simola, A.R., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2016). Neuromuscular fatigue and physiological responses after five dynamic squat exercise protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 953-965.
- Wiewelhove, T., Fernandez-Fernandez, J., Raeder, C., Kappenstein, J., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2016). Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(5), 606-615.
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2016). Effect of repeated active recovery during a high-intensity shock microcycle on markers of fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(8), 1060-1066.

Bundesinstitut für Sportwissenschaft
Graurheindorfer Straße 198 · 53117 Bonn
Telefon +49 (0) 228 99 640-0
Fax +49 (0) 228 99 640-9008
info@bisp.de
www.bisp.de

ISBN: 978-3-96523-032-3



9 783965 230323