

Diabetologie und Stoffwechsel

Supplement

S1

Oktober 2020
Seite S1-S272
15. Jahrgang

This journal is listed in
Science Citation Index,
EMBASE and SCOPUS

Offizielles Organ
der Deutschen
Diabetes Gesellschaft

DDG Deutsche
Diabetes
Gesellschaft

PRAXISEMPFEHLUNGEN DDG

CLINICAL PRACTICE RECOMMENDATIONS

Praxisempfehlungen
der Deutschen
Diabetes Gesellschaft

Herausgegeben von
A. Neu und M. Kellerer
im Auftrag der DDG

• Aktualisierte Version 2020



Thieme

Spart 11/2020

Diabetes, Sport und Bewegung

Autoren

Katrin Esefeld^{1, 4}, Stephan Kress^{2, 7}, Meinolf Behrens^{2, 8}, Peter Zimmer², Michael Stumvoll³, Ulrike Thurm², Bernhard Gehr^{2, 9}, Christian Brinkmann^{2, 5, 6}, Martin Halle^{1, 2, 4}

Institute

- 1 Präventive und Rehabilitative Sportmedizin, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, München
- 2 AG Diabetes und Sport der DDG
- 3 Medizinische Klinik und Poliklinik III, Universitätsklinik Leipzig, Leipzig
- 4 Deutsches Zentrum für Herz-Kreislaufforschung (DZHK), partner site Munich Heart Alliance (MHA), München
- 5 Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln
- 6 IST Hochschule Düsseldorf, Düsseldorf
- 7 Medizinische Klinik Vinzentius-Krankenhaus Landau
- 8 Diabeteszentrum Minden, Minden
- 9 m&i Fachklinik Bad Heilbrunn

Bibliografie

Diabetologie 2020; 15 (Suppl 1): S148–S155
 DOI 10.1055/a-1193-3901
 ISSN 1861-9002
 © 2020. Thieme. All rights reserved.
 Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
 70469 Stuttgart, Germany

Zitierweise für diesen Artikel Diabetologie 2020;

15 (Suppl 1): S148–S155. DOI:10.1055/a-1193-3901

Dieser Beitrag ist eine aktualisierte Version und ersetzt den folgenden Artikel: Esefeld K, Heinicke V, Kress S, et al. Diabetes, Sport und Bewegung. 2019; 14 (Suppl 2): S214–S221

Korrespondenzadresse

Dr. med. Stephan Kress
 Vinzentius-Krankenhaus
 Zertifiziertes Diabeteszentrum
 Cornichonstraße 4, 76829 Landau, Deutschland
 s.kress@vinzentius.de

Univ.-Prof. Dr. med. Martin Halle
 Technische Universität München, Klinikum rechts der Isar,
 Präventive und Rehabilitative Sportmedizin
 Georg-Brauchle-Ring 56, 80992 München, Deutschland
 martin.halle@mri.tum.de

Bewegung ist für alle Formen des Diabetes mellitus eine der wichtigsten Maßnahmen, die Gesundheit zu erhalten. Durch Sport und Bewegung werden Anpassungs- und Reparaturmechanismen in verschiedenen Organsystemen und Zellen wie der Muskulatur, den Nerven, Gefäßen, im Immunsystem oder Gehirn ausgelöst, die helfen können, Krankheiten abzuwehren [1–4].

Es muss dabei keine körperliche Höchstleistung erbracht werden. Belastungen nach dem Motto „Laufen ohne Schnaufen“ bringen bereits gute Gesundheitsergebnisse. Neben einer Bewegung von einer halben Stunde pro Tag möglichst zusätzlich zur Alltags-tätigkeit wird als effektiver Ansatz auch die Ausweitung der Chancen für Bewegung im Rahmen der Alltags-tätigkeiten empfohlen. Nach den Empfehlungen der American Diabetes Association (ADA) aus dem Jahr 2020 sollen sich Erwachsene mit Diabetes 150 Minuten und mehr in moderater Intensität pro Woche bewegen. Jüngere und körperlich fitte Patienten können sich auch intensiver belasten (Mindestempfehlung: 75 Minuten/Woche). Die Bewegung sollte verteilt sein auf mindestens 3 Tage, wobei nicht mehr als 2 bewegungsarme Tage hintereinander liegen sollen. Außerdem wird empfohlen, 2- bis 3-mal pro Woche Krafttraining durchzuführen, aber nicht an aufeinanderfolgenden Tagen.

Sitzphasen sollen alle 30 Minuten unterbrochen werden. Für Ältere wird 2- bis 3-mal pro Woche zusätzlich Flexibilitäts- und Gleichgewichtstraining empfohlen. Auch alternative Sportarten wie Yoga und Tai-Chi können geeignet sein. Zur Adipositasbehandlung sind Bewegungsumfänge von 200 bis 300 Minuten pro Woche und ein Energiedefizit von ca. 500 bis 750 kcal/Tag anzustreben [5].

Diese Praxisleitlinie soll die pathophysiologischen Hintergründe und therapeutischen Optionen zur Bedeutung von körperlicher Aktivität in der Therapie des Diabetes mellitus in Grundzügen umreißen und praktische Empfehlungen für die Umsetzung bei Typ-1- und Typ-2-Patienten geben.

Physiologie des muskulären Glukosestoffwechsels

Kontraktionen der peripheren Skelettmuskulatur erhöhen den muskulären Energieverbrauch. In Abhängigkeit von der Belastungsintensität und -dauer kann dieser auf das 8- bis 10-Fache des Ruhebedarfs ansteigen. Wird der Energieverbrauch unter

Ruhebedingungen primär durch die Oxidation freier Fettsäuren gedeckt, so wird unter körperlicher Belastung der Energiebedarf vermehrt durch Glykolyse und bei länger andauernder Muskelarbeit ergänzend durch β -Oxidation von freien Fettsäuren gedeckt. Zu Beginn der körperlichen Belastung wird zunächst intramuskuläre Glukose verbraucht, die aus dem Abbau der muskulären Glykogenreserven stammt. Ergänzend gelangt Glukose über eine Steigerung des transmembranösen Glukosetransports aus dem Blut in die Muskelzelle. Dies erfolgt durch eine Translokation von Glukosetransportern, im Fall der Muskulatur GLUT-4, vom endoplasmatischen Retikulum an die Muskelzellmembran, ein Vorgang, der insulinunabhängig ist und durch Muskelmembrankontraktion induziert wird. Die Eigenkontraktion der Muskelfasern entspricht somit der physiologischen Wirkung des Insulins. So kann auch bei Insulinresistenz wie bei Typ-2-Diabetes eine Steigerung des transmembranösen Glukosetransports ermöglicht und eine Senkung des Glukosespiegels induziert werden [6].

Der durch die Muskelarbeit bedingte systemische Glukoseabfall wird durch eine präzise und adäquate Steigerung der hepatischen Glukosefreisetzung ausgeglichen, wenn keine gleichzeitige Glukoseresorption aus der Nahrung zur Verfügung steht. Die Steigerung dieser Freisetzung wird im Wesentlichen durch eine Hemmung der pankreatischen Insulinsekretion und des daraus resultierenden Abfalls des Insulinspiegels im Pfortaderblut bewirkt. Unterstützend und modulierend wirken dabei die kontrainsulinären Hormone (Glukagon, Katecholamine und Cortisol). Fehlen Hormone wie Glukagon nach Zelluntergang wie bei der Pankreatitis, ist diese Gegenregulation aufgehoben, und dies kann zu schwerwiegenden, z. T. letalen Hypoglykämien führen.

Diese hepatischen und muskulären Energiespeicher werden während und nach Beendigung der Muskelarbeit wieder aufgefüllt. In Abhängigkeit vom Entleerungsgrad kann die Glukoseaufnahme in die Muskulatur noch bis zu 48 Stunden nach Ende der Muskelarbeit erhöht sein, was für die medikamentöse Einstellung und Reduktion der Insulindosis von Bedeutung ist. Intensive und zeitlich lange Belastungen der Muskulatur wie exzentrische Belastungsformen (z. B. Bergabgehen über mehrere Stunden beim Wandern) führen zu starken Entleerungen der muskulären Speicher. Gleichzeitig kann es durch diese Belastungsform zu Schädigungen der Muskelmembran inklusive der Insulinrezeptoren kommen, was sich in einer verstärkten Insulinresistenz widerspiegelt und ein Auffüllen der muskulären Glukosespeicher protrahiert.

Nutzen und Nachteile von körperlicher Aktivität bei Typ-1-Diabetes

Pathophysiologie

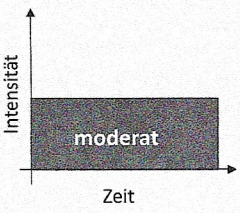
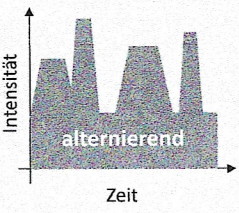
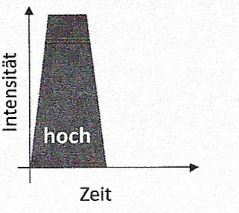



Bei Typ-1-Diabetikern fehlt die pankreatische Insulinsekretion, die exogen substituiert werden muss. Mit jeder Insulininjektion kommt es zu einem relativen Insulinüberschuss, der die muskuläre Glukoseaufnahme steigert, gleichzeitig aber die hepatische Glukosefreisetzung blockiert. Daraus resultiert ein Abfall des Blutglukosespiegels, der bei erhöhtem Ausgangsserumwert erwünscht ist, aber bei längerer Dauer der körperlichen Aktivität und bei bereits zu Beginn der Muskelarbeit bestehender Normo-

glykämie rasch unerwünschte Hypoglykämien zur Folge hat. Deshalb ist die genaue Abstimmung aus Bewegungssteigerung und Reduktion der Insulindosis von zentraler Bedeutung.

Zu Problemen kann es ebenfalls kommen, wenn körperliche Aktivität ausgeübt wird und bereits länger ein Mangel an Basisinsulin vorherrscht, weil unter Ruhebedingungen ohne Insulin eine Aufnahme von Glukose in die periphere Muskulatur kaum möglich ist. Das Auslassen von Insulininjektionen oder Katheterokklusionen bei Insulinpumpentherapie führen zu absolutem, Infekte zu relativem Insulinmangel. Dieser induziert eine Steigerung der kontrainsulinären Hormone mit Steigerung der hepatischen Glukosefreisetzung. Da gleichzeitig die Glukoseaufnahme in die Muskulatur eingeschränkt ist, steigt der Serumglukosespiegel an. Aufgrund der reduziert verfügbaren intramuskulären Glukose wird bei gesteigertem Energiebedarf der arbeitenden Muskulatur dieser dann primär durch freie Fettsäuren gedeckt, was die Entstehung einer Ketoazidose bei Insulinmangel während Muskelarbeit erklärt.

Konsequenzen für sportliche Aktivität bei Typ-1-Diabetes

- Sport und Spiel sind für alle Menschen ein Stück Lebensqualität und insbesondere für Kinder und Jugendliche ein wichtiges sozialintegratives Moment, das auch bei Typ-1-Diabetikern gefördert werden sollte.
- Regelmäßige sportliche Aktivität spielt auch bei Typ-1-Diabetikern eine wichtige Rolle zur Verbesserung des kardiovaskulären Risikoprofils [7].
- Allerdings führen körperliche Aktivität und Training zu verstärkten Glukoseschwankungen während und nach körperlicher Belastung.
- Ein körperliches Training kann dann uneingeschränkt empfohlen werden, wenn Insulininjektion, Glukoseaufnahme über die Nahrung und Energieumsatz durch körperliche Aktivität präzise aufeinander abgestimmt werden. So kann regelmäßige körperliche Aktivität, möglichst uniform und täglich, vergleichbare Stoffwechseleffekte induzieren und somit die Glukoseregulation langfristig optimieren, während sporadische Belastungen gerade bei ungeschulten und unerfahrenen Patienten unweigerlich zu Stoffwechselkapriolen führen.
- Aufgrund der individuellen Unterschiede im Ansprechen 1. des muskulären Glukosestoffwechsels auf körperliche Belastung, 2. des Glukoseanstiegs nach Nahrungsaufnahme, 3. der Insulinreaktion nach Injektion sowie 4. des körperlichen Trainingszustands der Muskulatur und des gesamten Organismus ist eine praktische Wissensvermittlung und Schulung inklusive der Ermittlung der individuellen Anpassung von zentraler Bedeutung [8].
- In ► **Abb. 1** werden die verschiedenen Belastungsformen (aerob, gemischt aerob-anaerob und anaerob) dargestellt mit dem jeweiligen Einfluss auf den Blutglukosespiegel unter Belastung. (Längere) Belastungen im aeroben Intensitätsbereich induzieren primär eine Hypoglykämie, wenn keine Anpassung der Insulindosis bzw. Kohlenhydratzufuhr erfolgt. Klassische aerobe Sportarten sind Walken, Wandern, Radfahren, Schwimmen, Langlaufen etc., die mit moderater Intensität

Aktivitätsform	aerob Beispiele: Walking, langames Joggen, Radfahren, Schwimmen	gemischt aerob/anaerob Beispiele: Spisportarten wie Handball, Fußball	anaerob Beispiele: Sprint
Intensität	 moderat	 alternierend	 hoch
Glukosetrend	 Hypoglykämie	 stabiler Blutzuckerspiegel	 Hyperglykämie

► **Abb. 1** Verschiedene Belastungsarten (aerob, gemischt aerob-anaerob, anaerob) und der jeweilige Glukosetrend. Daten nach [9]

über eine gewisse Dauer absolviert werden. Bei intensiven anaeroben Aktivitäten, wie z. B. Sprints, kommt es dagegen durch die Freisetzung von Katecholaminen gewöhnlich zu einem Anstieg des Blutzuckers. Spisportarten sind gekennzeichnet durch einen Wechsel von geringer, moderater und hoher Intensität. Dabei wird meist durch die unterschiedlichen Intensitäten eine stabile Blutzuckerlage erzielt. Grundsätzlich muss beachtet werden, dass es trotz eines anaerob induzierten Anstiegs des Blutzuckerspiegels während der Belastung in der Nachbelastungsphase zu einer auch protrahierten (nächtlichen) Hypoglykämie kommen kann und Kohlenhydratzufuhr und Insulindosis dementsprechend angepasst werden müssen. Die konkrete Blutzuckerantwort jedes Einzelnen ist jedoch abhängig von vielen Faktoren und muss bei Neubeginn von sportlicher Aktivität durch regelmäßige Blutzuckermessungen sowohl während als auch bis zu 12 h nach der Aktivität erfasst werden.

Praxis der Prävention sportinduzierter Komplikationen: Basisregeln

- Da es nur grobe Dosis-Wirkungs-Beziehungen gibt, müssen individuelle Anpassungsregeln für jeden Patienten erarbeitet werden.
- Dazu sollten bei sportlicher Aktivität regelmäßig Blutzuckerprofile erstellt und zusammen mit Insulindosis, Injektions-Trainingszeit-Abstand, Zusatzkohlenhydraten und Belastungsform (Ausdauer-, Krafttraining, Intensität, Trainingspuls) in einem Sporttagebuch protokolliert werden. Dieses Protokoll bildet die Basis für die Analyse individueller Stoffwechselreaktionen beim Sport, dient zur Sammlung von Erfahrungen und hilft bei der Therapieoptimierung mit dem Ärzte- oder Diabetesteam.
- Bei Blutzuckerwerten $> 13,9$ mmol/l (250 mg/dl) und Ketonämie (Blutazeton $> 1,1$ mmol/l) und Ketonurie (Azeton im Urin) liegt ein starker Insulinmangel vor. Dieser muss durch Insulinsubstitution behoben werden, bevor Muskelarbeit begonnen oder fortgesetzt wird.
- Die Verwendung von Geräten zur kontinuierlichen Glukosemessung (CGM) kann hilfreich sein, um Stoffwechselreaktionen beim/nach Sport besser einzuschätzen. Der Glukosewert wird dabei jedoch in der Gewebsflüssigkeit (Interstitialium) und nicht im Blut gemessen. Vor Beginn von sportlicher Aktivität sollte das Alarmprofil im CGM-System angepasst werden: niedrige Alarmgrenze anheben und Voralarm sehr empfindlich einstellen, hohe Alarmgrenze anheben oder sogar deaktivieren und Voralarm hier auf geringe Empfindlichkeit einstellen oder deaktivieren.
- Bei der Nutzung eines AID-Systems (AID = Automatische Insulindosierung; d. h. ein Algorithmus reduziert oder steigert die Insulinabgabe der Insulinpumpe in Abhängigkeit von den CGM-Daten) ist die Therapieanpassung an körperliche Aktivität sehr system- und produktspezifisch. Zur Sportanpassung sehen die AID-Systeme in der Regel die Möglichkeit einer temporären Erhöhung des Glukose-Zielwertes vor. Diese Eingabe muss rechtzeitig erfolgen (mind. 1–2 Stunden vor Beginn!); für längere und/oder intensivere Aktivitäten ist dies jedoch oft nicht ausreichend. Hier ist es oft empfehlenswert, den AID-Modus zu pausieren und die Therapieanpassung wie beschrieben manuell durchzuführen, um Hypoglykämien zu verhindern (im AID-Modus kann es auch im „Sport-Modus“ zu überhöhten Insulinabgaben z. B. nach Glukoseanstieg durch Sport-BE kommen).
- Optimalerweise sollte eine Ergometrie inklusive Laktattestung oder Spiroergometrie zur Bestimmung des aeroben und anaer-

oben Stoffwechsels erfolgen. Aufgrund der Bestimmung dieser Stoffwechselgrenzen und der assoziierten Pulsfrequenzen können dezidierte Trainingsempfehlungen gegeben werden.

- Belastungen im aeroben Bereich führen primär zu einer Hypoglykämie, anaerobe Belastungen zu einer Hyperglykämie. Bei dieser letzten, intensiven Belastungsform werden vermehrt Katecholamine freigesetzt, die unter Belastung zu Blutglukoseanstiegen führen, in der Nachbelastungsphase, gerade jenseits von 6 h, aber besonders Hypoglykämien begünstigen können. Dabei muss vor allem auch auf nächtliche Hypoglykämien geachtet werden.
- Beim Sport immer ein SOS-Sportset (z. B. Traubenzucker, Glukosegels, Softdrinks, Saft) mitführen, um bei Hypoglykämie sofort reagieren zu können.
- Bei langen Belastungen im Wasser, die Blutzuckermessungen unmöglich machen, sollte auf die Verwendung eines CGM-Systems zurückgegriffen werden. Dann muss der Empfänger des CGM-Systems mit einer wasserfesten, aber funkdurchlässigen Schutzhülle mitgeführt werden.
- Sportkameraden, Freunde, Trainer, Lehrer über Hypoglykämierisiko und Gegenmaßnahmen informieren.
- Umgebungsbedingungen (Hitze, Kälte) und Höhe müssen mit berücksichtigt werden, da diese die Interaktion zwischen Insulin, Glukose, Glukagon und Katecholaminen beeinflussen. In diesen Fällen sind häufigere Blutzuckerkontrollen indiziert.

Dosisfindung für Insulin und Zusatzkohlenhydrate

Für die Festlegung der Insulindosisreduktion und zusätzlicher Kohlenhydrate beim Sport müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden [8–13]:

- Alter
- Kardiovaskuläre Risikofaktoren und Erkrankungen
- Diabeteskomplikationen
- Medikation
- Trainingszustand
- Art, Intensität und Dauer der Muskelarbeit
- Krafttraining senkt den Glukosespiegel in der Nachbelastungsphase stärker als Ausdauertraining.
- Einflüsse auf Insulinverfügbarkeit durch Umgebungstemperatur, Injektionsort und -zeitpunkt des Insulins, Art des Insulinpräparats (Normalinsulin, Basalinsulin, Mischinsulin, Insulinanaloga), Höhe der Insulindosis, Art der Therapieform (CT, ICT CS II)
- Höhe des aktuellen Blutzuckers vor der Bewegung: Optimal sind Ausgangswerte von 120–180 mg/dl.
- Zeitpunkt der letzten Mahlzeit vor der Bewegung
- Art und Menge der aufgenommenen Kohlenhydrate
- Vor mehrstündigem und ganztägigem Sport Normal- und Basalinsulin bis zu 50 % reduzieren, da die Auffüllung der muskulären Glykogendepots bis zum Folgetag dauern kann. Gleichzeitig sollte eine Kohlenhydratzufuhr nach dem Sport erfolgen.
- Bei Sport von kurzer Dauer und geringer Intensität nur zusätzliche Kohlenhydrate (sog. Sport-BE) zuführen
- Bei Sport in der Wirkungszeit des Bolusinsulins dieses um 25–75 % reduzieren

- Wenn die Verminderung der Insulindosis nicht möglich ist, müssen wiederholt (alle 20–30 min) zusätzliche Kohlenhydrate in kleinen Mengen (1–2 KHE) mit hoher Energiedichte getrunken oder gegessen werden.
- Mehrere Portionen von 1–2 KHE sollen auf den Zeitraum vor, während und nach der Bewegung verteilt werden.
- In Abhängigkeit von Dauer und Intensität können Zusatzkohlenhydrate von insgesamt 8 KHE oder mehr erforderlich sein. Geeignet sind Cola, Fruchtsäfte, Müsliriegel, Obst und Brot.
- Zur Senkung der Hypoglykämiegefahr bei langandauernden Belastungen sind kurze Sprints vor, während oder nach der Belastung zu empfehlen, da kurze intensive Intervalle den Blutzuckerspiegel kurzfristig erhöhen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass diese intensiveren Belastungen zu einer protrahierten Blutzuckerreduktion führen können.
- Auf ausreichende Flüssigkeitszufuhr muss immer geachtet werden. Erhöhte Blutzuckerwerte erfordern eine zusätzliche Steigerung der Flüssigkeitszufuhr, um eine Dehydrierung zu vermeiden.

INFOBOX 1

Prävention sportinduzierter Komplikationen bei der Therapie mit einer Insulinpumpe

- Für Reduktion des Mahlzeitenbolus und zusätzlicher Kohlenhydrate: gleiche Regeln wie bei traditioneller Insulininjektionstechnik
- Bei Sport von mehr als 1–2 h Halbierung der Basalrate bei Normalinsulin 2 h und bei Analoginsulin ca. 1 h vor Sportbeginn, dann je nach Dauer und Intensität
- Bei Ablegen der Pumpe für mehr als 2–4 h Umstellung auf traditionelle Insulintherapie, Reduktion der Basalrate um 10–50 % bis zu 14 h

INFOBOX 2

Prävention sportinduzierter Komplikationen bei der Therapie mit Insulinanaloga

- Bei Sportbeginn bis zu 3 h nach Insulininjektion und einer Mahlzeit Reduktion kurz wirkender Insulinanaloga um 25–75 %
- Bei Sportbeginn mehr als 3 h nach Insulininjektion und einer Mahlzeit keine Reduktion kurz wirkender Insulinanaloga, bedarfsweise zusätzliche Kohlenhydrate
- Bei kurzzeitigem Sport keine Reduktion lang wirkender Insulinanaloga; ggf. zusätzliche Kohlenhydrate bzw. Reduktion kurzwirksamer Insuline zur Vermeidung von Hypoglykämien
- Vor ganztägigen körperlichen Aktivitäten Reduktion von langwirksamen Insulinanaloga (Glargin) um 20–40 % und danach um 10–20 %

Besonderer Hinweis zum Wettkampf- und Extremsport bei Typ-1-Diabetes

Typ-1-Diabetiker können im Grunde jegliche Sportart auch als Wettkampf- oder Leistungssport ausüben. Allerdings sind Sportarten, bei denen das Risiko von Bewusstseinsstörungen/eingeschränkter Urteilsfähigkeit infolge evtl. Hypoglykämien erhöht ist (z. B. Tauchen, Fallschirmspringen, Extremklettern, Skitouren in großer Höhe, Wildwasserkanufahren oder Drachenfliegen) nicht geeignet. Falls diese Sportarten doch durchgeführt werden, erfordern sie eine langjährige persönliche Erfahrung des Patienten, besonders sorgfältiges Verhalten, individuelle Planung und eine intensive Schulung.

Nutzen und Nachteile von Muskularbeit bei gestörter Glukosetoleranz/Typ-2-Diabetes

Pathophysiologie

Die grundlegende pathophysiologische Störung bei Patienten mit gestörter Glukosetoleranz und Typ-2-Diabetes mellitus ist eine gestörte Insulinsensitivität, häufig in Verbindung mit einer relativen Reduktion der pankreatischen Insulinsekretion. Ursachen dafür sind Bewegungsarmut und hyperkalorische Ernährung. Maßnahmen, die eine Steigerung der Insulinsensitivität induzieren, wie regelmäßige muskuläre Belastung, bieten eine kausale therapeutische Option. Jede Bewegung der Muskelfasern steigert den transmembranösen Glukosetransport durch Stimulation der Translokation von Glukosetransportern wie GLUT-4 aus intrazellulären Kompartimenten wie dem endoplasmatischen Retikulum an die Muskelzellmembran. Diese führt zur Blutzuckersenkung unter körperlicher Belastung, ein Vorgang, der unabhängig vom regulären Glukoseaufnahmeweg über den Insulinrezeptor vermittelt wird [6]. Dieser akute Prozess, der bereits nach 20–30 min zu beobachten ist, kann durch ständige Wiederholung von Muskularbeit wie durch Ausdauer- und Krafttraining verstetigt werden. Ergänzend sind weitere Mechanismen wie eine stärkere Insulinbindung an muskuläre Insulinrezeptoren wie auch eine Zunahme der Zahl der muskulären Insulinrezeptoren ebenso wie eine gesteigerte Aktivität von Enzymen des Energiestoffwechsels und die Zunahme der muskulären Kapillardichte beteiligt [6].

Therapeutischer Nutzen

- Lebensstilmaßnahmen mit Ernährungsumstellung und Erhöhung der körperlichen Aktivität zur Gewichtsreduktion sind essenziell für übergewichtige Patienten mit Diabetes mellitus Typ 2 und können zu einer Remission der Erkrankung führen. Übergewichtige Diabetespazienten, die in einem normalen hausärztlichen Setting betreut werden, können durch eine Kalorienreduktion (hypokalorischer Mahlzeitenersatz über 3 Monate mit 836 kcal/Tag) mit anschließendem Wiederaufbau von normaler Kost und Empfehlung zu einer Aktivität von optimalerweise 15 000 Schritten pro Tag deutlich an Gewicht abnehmen und eine Remission des Diabetes erzielen [14]. In einer randomisierten Interventionsstudie hatte fast die Hälfte der Patienten (46%) nach einjähriger Intervention keinen Diabetes

mellitus mehr und fast ein Viertel der Patienten (24%) hatte eine Gewichtsabnahme von ≥ 15 kg erzielt. Auch in der Langzeitauswertung nach 2 Jahren [15] konnten diese positiven Daten bestätigt werden: Fast ein Drittel der Patienten war immer noch in Remission. Fazit für die Praxis: Lebensstilmaßnahmen zur Gewichtsreduktion sind für übergewichtige Patienten mit Diabetes mellitus Typ 2 als essenzielle Therapie zu sehen.

- Bei bestehendem Typ-2-Diabetes bewirkt die Kombination aus regelmäßigem Ausdauer- und Krafttraining die größten Effekte auf HbA-Werte. Reduktionen von 0,8–0,9% zusätzlich zur medikamentösen Therapie sind im Durchschnitt zu erwarten [16, 17].
- Das kardiovaskuläre Risikofaktorenprofil bei Insulinresistenz und Metabolischem Syndrom kann durch Lebensstilumstellung signifikant verbessert werden [18, 19].
- Unklar sind die Effekte einer Lebensstilumstellung auf die kardiovaskuläre Ereignisrate. Makrovaskuläre Effekte konnten bei adipösem Typ-2-Diabetes nicht verbessert werden, während mikrovaskuläre Komplikation eindeutig reduziert werden konnten [18, 20].
- Die positiven Effekte körperlichen Trainings auf den muskulären Glukosetransport halten nach Beendigung des Trainings nur wenige Tage an. Um einen dauerhaften positiven Therapieeffekt zu erreichen, ist eine muskuläre Belastung von mindestens 3 \times /Woche notwendig. Eine lebenslange Umstellung auf einen aktiven Lebensstil mit regelmäßiger Bewegung ist erforderlich.

Hindernisse auf dem Weg zu einem aktiven Lebensstil

Ein grundlegendes Problem besteht darin, dass die Mehrzahl aller Typ-2-Diabetiker älter als 60 Jahre ist und wegen erhöhter Morbidität und Risikofaktoren (koronare Herzkrankheit, Herzinsuffizienz, periphere arterielle Verschlusskrankheit, periphere diabetische Neuropathie, proliferative diabetische Retinopathie, arterielle Hypertonie), Immobilität und fehlender Motivation nicht oder nur eingeschränkt an Bewegungsprogrammen teilnehmen kann. Allerdings ist gerade in diesen Fällen der Nutzen körperlicher Aktivität besonders evident.

- Bewegungsprogramme sollten vor allem dazu genutzt werden, Freude an der Bewegung zu wecken und den Einstieg in einen aktiven Lebensstil zu ermöglichen.
- Um bei älteren Menschen Erfolg zu haben, müssen Bewegungsprogramme deren körperliche Fähigkeiten, altersbedingten Leistungsabbau, krankheitsbedingte Beeinträchtigungen, ihre Interessen, ihre sozialen Bindungen und vor allem ihre Lebensgewohnheiten berücksichtigen.
- Konkrete Empfehlungen im Sinne eines Trainingsplans sind essenziell. Dieser sollte sowohl die Art als auch die Dauer und Intensität der Belastung vorgeben. Wichtig ist zu Beginn, dass Empfehlung zum Sport und ggf. erste Übungsanleitungen möglichst durch den behandelnden Arzt oder Diabetesberater stattfinden. Dies erhöht die Glaubwürdigkeit der Bewegungstherapie als eines wesentlichen Teils der Gesamttherapie.
- Bewegungsprogramme sind dann zum Scheitern verurteilt, wenn sie die potenziellen Teilnehmer körperlich und psychisch

überfordern. Dies ist gerade zu Beginn des Trainings innerhalb der ersten 6 Wochen von zentraler Bedeutung, denn zumeist ist das Belastungsniveau extrem niedrig und umfasst nur wenige 100 m.

- Entscheidend zu Beginn des Trainings ist die Regelmäßigkeit, auch wenn es nur 5 min am Tag sind. Steigerung der Dauer und Intensität ist in den ersten Wochen nachrangig und kann individuell angepasst werden. Als grobe Faustregel kann eine Steigerung der Dauer um 1 min pro Trainingseinheit pro Woche angenommen werden (Prinzip: „Start low – go slow“).
- Bewegungsprogramme, die diese Prinzipien nicht berücksichtigen, können eher schaden, wenn sie organische Schäden auslösen und Minderwertigkeits- oder Schuldgefühle wecken oder verstärken.
- Bewegungsprogramme können Keimzelle für neue Freundeskreise werden, in denen Wandern, Nordic-Walking, Radfahren, Schwimmen, Gymnastik oder andere Ausdauersportarten gepflegt werden. Diese Gemeinschaft verstärkt die Adhärenz zu den Programmen.
- Bewegungsprogramme für Diabetiker werden auch im Rahmen von ambulanten Diabetesgruppen angeboten, können aber auch in ambulante Herzsportgruppen integriert werden. Letztere sind besonders für Diabetiker mit Herzerkrankungen sinnvoll.

Chancen und Möglichkeiten der digitalen Welt im Kontext Bewegung

Die Nutzung der kontinuierlichen Glukosemessung mit und ohne Insulinpumpentherapie hat viele Patienten in die Lage versetzt, die metabolische Kontrolle bei Bewegung und Sport besser zu überwachen, zu kontrollieren und zu optimieren. Die individuelle Blutzuckerreaktion auf verschiedene körperliche Belastungen ist leichter erlernbar, und Hypoglykämien sind früher vorhersagbar und behandelbar [21–24].

Sensoren, die nichtinvasiv physiologische Signale wie z. B. Herzfrequenz, Beschleunigung, Wärmefluss und Hautfeuchtigkeit aufzeichnen, können zur Trainingsüberwachung eingesetzt werden [25]. Wearables (u. a. Sportuhren, Fitness- und Aktivitätstracker, Smartwatches) bieten auch bei geringen Bewegungsumfängen die Chance, zur individuellen körperlichen Aktivität zu motivieren und diese zu überwachen.

Diverse Gesundheits-Apps zur Optimierung des Lebensstils können für die Prävention und Therapie genutzt werden [26–29]. Es gibt Gesundheits-Apps zum Selbstmanagement bei Gestationsdiabetes [27, 30] oder Smartphone-Apps für Sportler mit Typ-1-Diabetes [31]. Ihre Qualität und ihr Nutzen sollten wissenschaftlich belegt sein und erst dann sollten sie allgemein empfohlen werden.

Telemedizinisches Coaching [32], digitale Selbsthilfe [33] und Fitness-Portale für ein Training per Stream oder Download können Bewegung ohne örtliche Bindung fördern. Gerade in einer bewegungsarmen digitalen Welt besteht die Chance, besonders bei bewegungsarmen Kindern durch digitale Bewegungsspiele (Exergaming) eine Verbesserung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit zu erreichen [34].

Mit E-Bikes bekommen Menschen mit eingeschränkter körperlicher Leistungsfähigkeit neue Freiheitsgrade, sodass die Fitness bei deren Nutzung zunehmen kann [35].

Praktisches Vorgehen bei der Durchführung von Bewegungsprogrammen

- Ausdauerorientierte Bewegungsprogramme sollen primär die aerobe Kapazität steigern und sind aufgrund der positiven metabolischen und kardiopulmonalen Effekte eine gute Trainingsart. Empfehlenswert sind Ausdauersportarten, die dynamische Beanspruchungen möglichst großer Muskelgruppen gegen einen möglichst geringen Widerstand in rhythmisch gleichbleibender Form erlauben, wie z. B. Nordic-Walking, schnelles Gehen/Walken, Bergwandern, Skiwandern, Schwimmen oder Radfahren.
- Von der Trainingsintensität wird primär ein moderates Ausdauertraining (ca. 50–60 % der maximalen Herzfrequenz, aerober Trainingsbereich) empfohlen. Gerade ein Wechsel unterschiedlicher Belastungsintensitäten zwischen ca. 60–80 % der maximalen Herzfrequenz (Wechsel aus aerober und anaerober Intensität) im Sinne eines Intervalltrainings kann größere Effekte induzieren [16, 36].
- Auch ein Krafttraining für die großen Muskelgruppen kann (zusätzlich) empfohlen werden, da die Kraftbelastungen zu einer Zunahme der Muskel- und somit fettfreien Masse führen, resultierend in einer verbesserten Insulinresistenz. Während der Trainingseinheiten ist allerdings das Risiko durch Blutdruckanstiege bei Vorliegen einer arteriellen Hypertonie zu beachten. Die Blutdruckwerte müssen vor Trainingsbeginn optimal medikamentös sowohl in Ruhe als auch unter Belastung eingestellt sein (Kontrolle beim Belastungs-EKG). Auf eine gleichmäßige Atmung sollte beim Krafttraining geachtet werden, da Pressatmung hohe Blutdruckspitzen hervorrufen kann. Für ein Krafttraining empfiehlt sich ein Ganzkörper-Kraftausdauertrainingsprogramm mit 2–3 Sätzen pro Muskelgruppe bei 15–20 Wiederholungen und einer Intensität von ca. 50–65 % vom 1er-Bewegungsmaximum und für Fortgeschrittene ein Muskelaufbautraining bei 8–12 Wiederholungen und einer Intensität von ca. 70–80 % vom 1er-Bewegungsmaximum [37].
- Die Bewegungsprogramme sollten auch motorische Beanspruchungsformen enthalten, die Geschicklichkeit, Schnelligkeit, Reaktionsvermögen, Koordination und Gelenkigkeit verbessern helfen, z. B. im Rahmen von Ballspielen oder beim Tanzen. Verbesserungen der Balance lassen sich auch durch Ganzkörper-Vibrationstraining erreichen.
- Erste Studien deuten darauf hin, dass durch (ergänzende) alternative Trainingsformen wie Elektromyostimulationstraining (EMS-Training), Ganzkörper-Vibrationstraining oder Sport mit interaktiven Computerkonsolen (Exergaming) bei fachgerechter Anleitung ebenfalls positive Wirkungen, u. a. auf glykämische Werte, bei Patienten mit Typ-2-Diabetes erreicht werden können [38–40], wenngleich die Effektivität im Vergleich zu klassischem Ausdauer-/Krafttraining zukünftig noch weiter zu bewerten ist. Aktuell gilt für ein EMS-Training im kommerziellen Setting Diabetes mellitus als Kontraindikation [41].

- Zusätzlich sollte die Alltagsaktivität (Treppensteigen, Spazierengehen, Gartenarbeit etc.) gesteigert werden. Auch dadurch lassen sich bereits positive Effekte auf den Glukosestoffwechsel/die Insulinresistenz erzielen. Diese sind allerdings geringer als bei gezielten Bewegungsprogrammen.

INFOBOX 3

Prinzipien des Bewegungsprogramms bei Typ-2-Diabetes

- Zur Beurteilung der körperlichen Belastung wird als indirektes Maß die Herzfrequenz genutzt, da gesicherte Beziehungen zwischen Herzfrequenz und körperlicher Leistungsfähigkeit ($VO_2\text{max}$) bestehen.
- Der Trainingspuls sollte individuell bestimmt werden, optimal durch Ergometrie mit Laktatbestimmung bzw. spirometrisch, ansonsten Ermittlung mithilfe der Karvonen-Formel ($\text{Trainingspuls} = \text{HF}_{\text{Ruhe}} + (\text{HF}_{\text{max}} - \text{HF}_{\text{Ruhe}}) \times 0,6$). Faustregeln, wie z. B. Herzfrequenz = $180/\text{min} - \text{Lebensalter}$ sind ungeeignet.
- Die initiale Belastungsintensität sowie -dauer (anfangs < 10 min pro Trainingseinheit) sollte niedrig gehalten werden. Stattdessen sollte die Bewegung an möglichst vielen Tagen der Woche (optimal täglich) durchgeführt werden bzw. bevorzugt kurze Einheiten mehrmals am Tag. Die Belastungsdauer und -intensität sollte über Wochen langsam gesteigert werden
- Zur Erzielung der gewünschten Langzeiteffekte sind Belastungsintervalle von 20 min optimal 6–7 \times /Woche.
- Ergänzend kann die Steigerung der Alltagsaktivität die positiven Effekte verstärken.

Vermeiden von Komplikationen infolge von Bewegungsprogrammen

- Ältere Menschen mit Typ-2-Diabetes mellitus haben im Vergleich zu gleichaltrigen Gesunden ein höheres kardiovaskuläres Risiko. Dieses Risiko liegt umso höher, je geringer die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit ist. Zur Vermeidung unerwünschter kardiovaskulärer Zwischenfälle nach jahrelangem Bewegungsmangel muss vor Beginn eine kardiologische Untersuchung inklusive maximaler Ergometrie (als Abbruchkriterium sollten keine altersäquivalenten Richtwerte, sondern klare Abbruchkriterien gewählt werden, sodass eine individuell maximale Belastungsintensität ermittelt werden kann) durchgeführt werden. Eine gleichzeitige Laktatbestimmung oder Spirometrie kann helfen, die optimale Trainingsintensität festzulegen und ein Training besser individuell zu strukturieren.
- Patienten mit Typ-2-Diabetes haben gehäuft weitere kardiovaskuläre Komplikationen wie koronare Herzerkrankung, Herzinsuffizienz oder peripher-arterielle Verschlusskrankheit. Die Trainingsintensität sollte darauf abgestimmt werden und ist durch die entsprechende Grunderkrankung limitiert.
- Einschränkungen der Belastbarkeit sind bei Patienten mit Typ-2-Diabetes gehäuft durch eine diastolische Herzinsuffizienz (Heart Failure with preserved Ejection Fraction, HFpEF)

- bedingt. Dies muss vor Planung des Trainingsprogramms abgeklärt und das Training entsprechend angepasst werden.
- Diabetiker sollten generell niederschwellig auch in Bewegungsprogrammen trainieren. „Laufen ohne Schnaufen“ ist die wichtigste Regel auch für den herzkranken Patienten. Unter diesem Gesichtspunkt ist für den geschulten Patienten eine Arztpräsenz nicht erforderlich. Ein Patient frisch nach dem Herzinfarkt sollte wie üblich mit Arztpräsenz in einer Koronarsportgruppe trainieren.
- Zur Vermeidung von Hypoglykämien sollte eine Blutzuckermessung unbedingt vor, während und nach dem Bewegungsprogramm bei Diabetikern unter Insulintherapie durchgeführt werden. Anpassungen der Insulindosis und Zusatz-KHE sollen berücksichtigt werden.
- Bei proliferativer Retinopathie Blutdruckanstiege über 180–200/100 mmHg vermeiden. Nach Laserung der Netzhaut oder Augenoperation 6 Wochen keine körperliche Belastung. Krafttraining und Kampfsportarten sind bei Retinopathie ungeeignet und potenziell schädlich.
- Bei peripherer diabetischer Neuropathie bestehen Risiken für die Manifestation eines diabetischen Fußulkus durch unpassendes Schuhwerk.
- Bei diabetischem Fußsyndrom muss das angepasste Bewegungsprogramm eine Gewebeüberlastung verhindern und sollte nur von spezialisierten Trainern durchgeführt werden. Bei einem diabetischen Fußulkus muss das Bewegungsprogramm pausiert werden.
- Bei autonomer Neuropathie muss die Störung der physiologischen Blutdruck- und Herzfrequenzregulation beachtet werden.

Interessenkonflikte

MH erhielt Honorare der Firmen Almased, Abbott, Roche, Amgen, Astra-Zeneca, Berlin-Chemie, BMS, Daiichi-Sankyo, MSD, Novartis, Pfizer, Recordati-Pharma. Funding for Instituion (studies): Almased für ACCORH-Studie, Weissbräu für MAGIC-Studie; Novartis für Activity Study.
 Scientific Advisory Board: Novartis.
 CB erklärt, dass er innerhalb der vergangenen 3 Jahre Forschungsunterstützung/Beraterhonorare der Firmen Astra-Zeneca, Medicap, Abbott sowie Muco Pharma erhalten hat.

Literatur

- [1] Pedersen BK, Saltin B. Exercise as medicine – evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 2015; 25 (Suppl. 3): 1–72
- [2] Kirchner H, Osler ME, Krook A et al. Epigenetic flexibility in metabolic regulation: disease cause and prevention? *Trends in cell biology* 2013; 23: 203–209
- [3] Benatti FB, Pedersen BK. Exercise as an anti-inflammatory therapy for rheumatic diseases-myokine regulation. *Nature reviews rheumatology* 2015; 11: 86–97
- [4] Fiuza-Luces C, Garatachea N, Berger NA et al. Exercise is the real polypill. *Physiology* 2013; 28: 330–358
- [5] American Diabetes Association. Standards in medical care in diabetes – 2020. *Diabetes care* 2020; 43: S1

- [6] Stanford KI, Goodyear LJ. Exercise and type 2 diabetes: molecular mechanisms regulating glucose uptake in skeletal muscle. *Advances in physiology education* 2014; 38: 308–314
- [7] Herbst A, Kordonouri O, Schwab KO et al. Impact of physical activity on cardiovascular risk factors in children with type 1 diabetes: a multicenter study of 23251 patients. *Diabetes care* 2007; 30: 2098–2100
- [8] Tonoli C, Heyman E, Roelands B et al. Effects of different types of acute and chronic (training) exercise on glycaemic control in type 1 diabetes mellitus: a meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, NZ)* 2012; 42: 1059–1080
- [9] Riddell MC, Gallen IW, Smart CE et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet diabetes endocrinol* 2017; 5: 377–390
- [10] Roberts AJ, Taplin CE. Exercise in Youth with Type 1 Diabetes. *Current pediatric reviews* 2015; 11: 120–125
- [11] Pivovarov JA, Taplin CE, Riddell MC. Current perspectives on physical activity and exercise for youth with diabetes. *Pediatric diabetes* 2015; 16: 242–255
- [12] Bally L, Laimer M, Stettler C. Exercise-associated glucose metabolism in individuals with type 1 diabetes mellitus. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care* 2015; 18: 428–433
- [13] Garcia-Garcia F, Kumareswaran K, Hovorka R et al. Quantifying the acute changes in glucose with exercise in type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, NZ)* 2015; 45: 587–599
- [14] Lean ME, Leslie WS, Barnes AC. Primary care-led weight management for remission of type 2 diabetes (DiRECT): an open-label, cluster randomised trial. *Lancet* 2018; 391: 541–551
- [15] Lean MEJ, Leslie WS, Barnes AC. Durability of a primary care-led weight-management intervention for remission of type 2 diabetes: 2 year results of the DiRECT open-label, cluster randomised trial. *Lancet diabetes endocrinol* 2019; 7: 344–355
- [16] Rohling M, Herder C, Roden M et al. Effects of Long-Term Exercise Interventions on Glycaemic Control in Type 1 and Type 2 Diabetes: a Systematic Review. *Experimental and clinical endocrinology & diabetes: official journal, German Society of Endocrinology [and] German Diabetes Association*. 2016
- [17] Umpierre D, Ribeiro PA, Kramer CK et al. Physical activity advice only or structured exercise training and association with HbA1c levels in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *JAMA: the journal of the American Medical Association* 2011; 305: 1790–1799
- [18] Wing RR, Bolin P, Brancati FL et al. Cardiovascular effects of intensive lifestyle intervention in type 2 diabetes. *The New England journal of medicine* 2013; 369: 145–154
- [19] Knowler WC, Fowler SE, Hamman RF et al. 10-year follow-up of diabetes incidence and weight loss in the Diabetes Prevention Program Outcomes Study. *Lancet (London, England)* 2009; 374: 1677–1686
- [20] Look AHEAD research group et al. Effect of a long-term behavioural weight loss intervention on nephropathy in overweight or obese adults with type 2 diabetes: a secondary analysis of the Look AHEAD randomised clinical trial. *Lancet Diabetes & endocrinology* 2014; 2: 801–809
- [21] Colberg SR, Laan R, Dassau E et al. Physical activity and type 1 diabetes: time for a rewire? *Journal of diabetes science and technology* 2015; 9: 609–618
- [22] Jayawardene DC, McAuley SA, Horsburgh JC et al. Closed-loop insulin delivery for adults with type 1 diabetes undertaking high-intensity interval exercise versus moderate-intensity exercise: a randomized, crossover study. *Diabetes technology & therapeutics* 2017; 19: 340–348
- [23] Breton MD, Chernavsky DR, Forlenza GP et al. Closed-loop control during intense prolonged outdoor exercise in adolescents with type 1 diabetes: the artificial pancreas ski study. *Diabetes care* 2017; 40: 1644–1650
- [24] Dovc K, Macedoni M, Bratina N et al. Closed-loop glucose control in young people with type 1 diabetes during and after unannounced physical activity: a randomised controlled crossover trial. *Diabetologia* 2017; 60: 2157–2167
- [25] Ding S, Schumacher M. Sensor monitoring of physical activity to improve glucose management in diabetic patients: a review. *Sensors* 2016; 16: 589
- [26] Lunde P, Blakstad Nilsson B, Bergland A et al. The effectiveness of smartphone apps for lifestyle improvement in noncommunicable diseases: systematic review and meta-analyses. *Journal of medical internet research* 2018; 20: 1–12
- [27] Wu X, Guo X, Zhang Z. The efficacy of mobile phone apps for lifestyle modification in diabetes: systematic review and meta-analysis. *JMIR Mhealth and Uhealth* 2019; 7: e12297
- [28] Yom-Tov E, Feraru G, Kozdoba M et al. Encouraging physical activity in patients with diabetes: intervention using a reinforcement learning system. *Journal of medical internet research* 2017; 19: e338
- [29] Jimenez G, Lum E, Car J. Examining diabetes management apps recommended from a Google search: content analysis. *JMIR Mhealth and Uhealth* 2019; 7: e11848
- [30] Pais S, Parry D, Petrova K et al. Acceptance of using an ecosystem of mobile apps for use in diabetes clinic for self-management of gestational diabetes mellitus. *Studies in health technology and informatics* 2017; 245: 188–192
- [31] Kordonouri O, Riddell MC. Use of apps for physical activity in type 1 diabetes: current status and requirements for future development. *Therapeutic advances in endocrinology and metabolism* 2019; 10: 1–7
- [32] Thomas JG, Bond DS, Raynor HA et al. Comparison of smartphone-based behavioral obesity treatment with gold standard group treatment and control: a randomized trial. *Obesity* 2019; 27: 572–580
- [33] Schütte L. Digitale Selbsthilfe. Digitalisierungs- und Technologiereport Diabetes 2019. https://www.dut-report.de/wp-content/uploads/2019/01/Selbsthilfe_Schuette.pdf. Zugriff 26.05.2019
- [34] Staiano AE, Beyl RA, Guan W et al. Home-based exergaming among children with overweight/obesity: a randomized clinical trial. *Pediatric obesity* 2018; 13: 724–733
- [35] Cooper AR, Tibbitts B, England C et al. Potential of electric bicycles to improve the health of people with type 2 diabetes: a feasibility study. *Diabetic medicine* 2018; 35: 1279–1282
- [36] Karstoft K, Winding K, Knudsen SH et al. The effects of free-living interval-walking training on glycemic control, body composition, and physical fitness in type 2 diabetic patients: a randomized, controlled trial. *Diabetes care* 2013; 36: 228–236
- [37] Yang Z, Scott AC, Mao C et al. Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine* 2014; 44: 487–499
- [38] van Buuren F, Horstkotte D, Mellwig KP et al. Electrical myostimulation (EMS) improves glucose metabolism and oxygen uptake in type 2 diabetes mellitus patients – results from the EMS study. *Diabetes technology & therapeutics* 2015; 17: 413–419
- [39] Robinson CC, Barreto RP, Sbruzzi G et al. The effects of whole body vibration in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Brazilian journal of physical therapy* 2016; 20: 4–14
- [40] Kempf K, Martin S. Autonomous exercise game use improves metabolic control and quality of life in type 2 diabetes patients – a randomized controlled trial. *BMC Endocrine disorders* 2013; 13: 57
- [41] Kemmler W, Weissenfels A, Willert S et al. Recommended contraindications for the use of non-medical WB-electromyostimulation. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2019; 11: 278–281