

Zusammenfassung

Bereits in den 90er Jahren wurde die Erforschung wirksamer Präventionsstrategien im Nicht-Behindertensport zu einem wichtigen Forschungsthema. Im Para-Sport hingegen begann die systematische Erfassung von Erkrankungen und Verletzungen erst viel später, obwohl Verletzungen bei Para-Athleten noch schwerwiegendere Konsequenzen haben können, da sie häufig die Mobilität, Selbstversorgung und die sportliche Karriere nachhaltig bedrohen. Dieser narrativer Übersichtsartikel hat zum Ziel, Kliniker und Forscher für die Thematik zu sensibilisieren. Nach einer Einführung in den Para-Sport wird die aktuelle Studienlage zur Epidemiologie zusammengefasst, um mögliche Präventionsstrategien aufzuzeigen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Schulterverletzungen bei Rollstuhllathleten.

Schlüsselwörter

Para-Athlet – Para-Sport – Paralympic – Prävention – Erkrankungen – Sportverletzungen

A. Hirschmüller, A. Cerrito

Prevention of diseases and injuries in para-sport

Summary

Prevention of sports-related illnesses and injuries in Olympic sports has a relatively long tradition. The number of scientific publications on that topic particularly increased in the 1990's. In comparison, the collection of epidemiological data in para-athletes has only begun recently although sportsrelated illnesses and injuries are of even more concern since they can lead to significant symptoms, immobility and even have career-ending consequences. Hence, the aim of this brief narrative paper is to raise clinicians' and researchers' awareness on typical injuries and illnesses in para-athletes. The article provides a summary of epidemiological data and delves specifically into the topic of shoulder injury prevention in wheelchair athletes.

Keywords

para-athlete – Para-sports – Paralympic – Prevention – Diseases – Sports injuries

REVIEW / SPECIAL ISSUE

Prävention von Erkrankungen und Verletzungen im Para-Sport

Anja Hirschmüller^{a,b}, Adrien Cerrito^a

^aAltius Swiss Sportmed Center Rheinfelden, Switzerland

^bUniklinik Freiburg, Klinik für Orthopädie und Traumatologie, Freiburg, Germany

Eingegangen/submitted: 16.12.2020; akzeptiert/accepted: 20.01.2021

Online verfügbar seit/Available online: xxx

Einleitung

Der Begriff „Para-Athlet“ ist der übergeordnete Begriff für Wettkampfsportlerinnen und -sportler mit einer Behinderung [1]. Der Begriff „Paralympic“ stammt vom Griechischen „Para“ (neben) und „Olympic“ und wurde kreiert, da die paralympischen Spiele initial parallel zu den olympischen Spielen abgehalten wurden [2]. „Paralympische Athleten“ sind somit streng genommen diejenigen, die an den paralympischen Spielen teilnehmen oder teilgenommen haben, so dass generell von Para-Athleten gesprochen werden sollte. Der Para-Sport umfasst eine Vielzahl von Sportarten sowie Sportler*innen mit unterschiedlichsten Behinderungen. Rückenmarksverletzungen, Gliedmaßenveränderungen, Zerebralparesen, Sehbehinderungen und geistige Beeinträchtigungen gehören dazu und machen die Thematik komplex und die Generalisierbarkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse schwierig. Dieser Artikel fokussiert daher auf der Prävention der häufigsten Krankheitsbilder der wichtigsten Behinderungsarten. Wie im van Mechelen-Modell beschrieben, muss der Entwicklung von Präventionsstrategien die Analyse von typischen Verletzungs- und Erkrankungsmustern vorausgehen

[3]. Daher werden zunächst die Behinderungsarten und Para-Sportarten mit deren Charakteristika im Hinblick auf Prävention genauer beschrieben. Anschließend wird die Epidemiologie von Verletzungen und Krankheiten bei Elite-Para-Athleten dargestellt, um dann Präventionsstrategien abzuleiten.

Sportarten und Behinderungsformen im Para-Sport und deren Folgen im Hinblick auf Prävention

Paralympische Sportarten sind entweder als Anpassung einer olympischen Sportart entstanden oder als neue Sportart speziell für Menschen mit einer Behinderung. Letzteres ist der Fall beim Goalball für Sportler mit Sehbehinderung oder beim Boccia für Sportler mit schwerer Hypertonie, Ataxie oder Athetose [4]. Mittlerweile werden bei den Paralympischen Sommerspielen über 20 verschiedene Sportarten ausgetragen, wobei 6 Hauptbehinderungsarten [4] unterschieden werden:

- 1) Amputationen oder Extremitätenbehinderungen
- 2) Zerebralparese
- 3) Querschnittslähmung / Rückenmarksbedingte Beeinträchtigung („spinal cord injury“, „SCI“)

- 4) Sehbehinderung
- 5) Intellektuelle Beeinträchtigung
- 6) Eine Reihe von weiteren Behinderungen, die von den oben genannten Gruppen nicht abgedeckt werden („les autres“, „die Anderen“ auf Französisch)

Insbesondere *Querschnittslähmungen* gehen durch die Schädigung des Rückenmarks mit erheblichen Veränderungen des Stoffwechsels, des Herz-Kreislaufsystems, der Atmung sowie mit Muskelatrophie und Osteoporose unterhalb der Lähmungshöhe einher [5,6]. Die Schädigung des sympathischen Nervensystems beeinträchtigt die Kreislaufregulation sowohl in Ruhe als auch unter Belastung [6]. Die Inaktivität der Beine und die damit verbundenen Atrophie der Beinmuskulatur verändern den peripheren Blutfluss [7]. Diese Einschränkungen können zum Auftreten von sekundären Komplikationen wie Venenthrombosen, Ödemen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Druckulzera beitragen. Eine Verletzung des Halsmarkes und oberen Brustmarkes führt außerdem zu einer Störung der sympathischen Innervation des Herzens und zum Versagen des belastungsinduzierten Anstiegs des Katecholaminspiegels [8]. Tetraplegiker zeigen daher eine verringerte maximale Herzfrequenz. Orthostatische Dysregulationen sowie ein unzureichender Anstieg des Blutdrucks während des Trainings sind bei Sportlern mit Lähmungshöhe über Th 6 häufig [8]. Die Schädigung des autonomen Nervensystems führt auch zu einer verminderten Thermoregulation, einschließlich einer verminderten kardialen Perfusion und einer verminderten Schweißrate [6]. Infolgedessen kann die Hitzetoleranz insbesondere bei Athleten mit höheren Lähmungshöhen erheblich verringert sein [9].

Aufgrund eines läsionsabhängigen Verlusts der Innervation der Atem- und/oder Atemhilfsmuskulatur ist auch die Atemfunktion beeinträchtigt. Da das Atemzugvolumen und die Vitalkapazität vom Läsionsgrad und der Läsionshöhe abhängen, sind Personen mit kompletter Tetraplegie am stärksten betroffen [10].

Von *Erkrankungen* sind bei Querschnittsgelähmten Athleten neben der Lunge vor allem das Urogenitalsystem, der Magen-Darm-Trakt und die Haut betroffen [11]. Harnwegsinfektionen treten häufig auf. Die Literatur zeigt, dass die Art des Blasenmanagements, die verwendeten Blasenkathetertypen sowie die Menge der Flüssigkeitsaufnahme das Risiko von Harnwegsinfektionen beeinflussen können [12]. Vonseiten des Bewegungsapparates sind bei Rollstuhlfahrern insbesondere die Schultern mechanisch stark belastet. Hände und Finger werden mit am häufigsten verletzt.

Epidemiologie von Erkrankungen und Verletzungen

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Epidemiologie von Erkrankungen und Verletzungen bei Para-Athleten haben in den letzten 10 Jahren erheblich zugenommen [13]. Während bereits seit 2002 epidemiologische Studien bei den Winter-Paralympics durchgeführt wurden, begann das systematische Monitoring von Verletzungen und Erkrankungen bei den Paralympischen Sommerspielen erst 2012 [2,14]. Die Ergebnisse dieser Studien waren sehr wichtig, um die medizinischen Probleme paralympischer Sportler besser zu verstehen, ihre medizinische Versorgung zu planen und Präventionsstrategien zu implementieren. Demgegenüber sind Vergleichsstudien immer noch rar, da die Vielzahl der Behinderungen (von

denen einige sehr selten, andere schwer oder wechselnder Intensität oder sogar progressiv sind) den Vergleich von Sportlern schwierig macht [4].

Die wichtigsten Erkenntnisse der epidemiologischen Studien sind:

- Sportler mit Behinderungen zeigen deutlich höhere Krankheitsraten und etwas höhere Verletzungsraten als olympische Athleten [13,15–17]. Darüber hinaus unterscheiden sich insbesondere die Verletzungsmuster erheblich zwischen den beiden Populationen und auch zwischen den Behinderungsarten, den Sportarten und Disziplinen innerhalb des Para-Sports [18].
- Die Inzidenzrate von Verletzungen ist bei den Paralympischen Winterspielen etwa doppelt so hoch wie bei den Sommerspielen. Schwere Verletzungen, einschließlich Kopfverletzungen, Frakturen und Quetschverletzung sind hier vermehrt zu finden, was wahrscheinlich auf die Hochgeschwindigkeitselemente beim Para-Eishockey, beim Alpinski fahren und beim Para-Snowboarden zurückzuführen ist [19,20].
- Das Risiko schwerer Verletzungen ist bei behinderungsbedingten Koordinationsstörungen, beeinträchtigtem Gleichgewicht sowie bei verminderter Knochenmasse erhöht.
- Krankheitsraten sind bei paralympischen Athleten höher als bei olympischen Athleten. Der Urogenitaltrakt, Haut- und Unterhautgewebe sowie das Verdauungssystem sind, neben den Atemwegen, die am stärksten von Krankheiten betroffenen Systeme [21]. Bei den Sommerspielen weisen Mannschaftssportarten, Rollstuhlfechten und Para-Schwimmen die höchsten Inzidenzraten auf. Generell sind Rollstuhlfahrer, weibliche Athletinnen

und ältere Sportler (35-75 Jahre) häufiger betroffen [16].

- Über alle Sportarten betrachtet, dominieren bei den Verletzungen im Para-Sport die oberen Extremitäten, während bei olympischen Athleten Verletzungen der unteren Extremitäten am häufigsten zu finden sind [14,22].

Der am häufigsten betroffene anatomische Bereich ist bei paralympischen Rollstuhlsportlern die Schulter, gefolgt vom Handgelenk und den Händen. Schulterverletzungen sind in erster Linie überlastungsbedingt, da das Antreiben des Rollstuhls hohen Stress auf die Schultergelenke ausübt. Handverletzungen können durch Reibung schleifender Rollstuhlreifen oder bei Kollisionen der Rollstühle in Mannschaftssportarten auftreten. Beim Para-Alpinski fahren besteht bei den Krückenstöcken das Risiko, dass die Athleten mit diesen in die Tore einfädeln. Auch Schädelhirntraumata treten häufig auf, einerseits im Blindenfußball, andererseits im Ski-Alpinbereich.

Da die *Schulterverletzungen* insbesondere bei Rollstuhlfahrern bzw. querschnittsgelähmten Athleten einen besonders hohen Stellenwert haben, soll auf diese nun noch genauer eingegangen werden:

Bei Rollstuhllathleten treten Schulterverletzungen häufig auf, die Prävalenz wird je nach Sportart zwischen 21% (Basketball) und 76% (Überkopfsport) angegeben. Die Ätiogenese ist dabei nicht immer spezifiziert. Am häufigsten scheinen Bicepssehnenpathologien, ein subakromiales Impingement oder eine Pathologie des AC-Gelenkes beschwerdeursächlich zu sein [23]. Da die Schmerzen bei Schulterbeschwerden nicht immer eindeutig auf eine bestimmte Struktur zurückgeführt werden können, wird oft der Begriff "Rotator Cuff Related Shoulder Pain" verwendet, worunter dann

Impingementassoziierte Beschwerden, subakromiale Bursopathien und Rotatorenmanschettenentendopathien resp. -läsionen subsumiert werden [24]. Darüber hinaus können auch strukturelle Schulterpathologien vorliegen, ohne Beschwerden zu verursachen, wie unter anderen Hacken et al. (2019) in einer Studie an nicht-behinderten Athleten zeigen konnte. Sie wiesen mittels MRT-Untersuchungen der Schulter bei 25% asymptomatischer Athleten strukturelle Läsionen nach [25].

Es wurden verschiedene modifizierbare und nicht modifizierbare Risikofaktoren für die Entwicklung von Schultergelenkspathologien und/oder -beschwerden bei Rollstuhlfahrern identifiziert. Zu den nicht-modifizierbaren Faktoren zählen Geschlecht [26,27], Alter [28] und der Grad der Rückenmarksläsion [26]. Dabei ist zu beachten, dass die Benutzung eines Rollstuhls per se einen Risikofaktor für Schulterbeschwerden darstellt [29]. Selbst bei nicht-sportlichen Rollstuhlfahrern ist die Prävalenz von Schulterbeschmerzen, -verletzungen und -sehnenkrankungen höher als bei altersentsprechenden Vergleichspersonen ohne Behinderung [30,31]. Dies wird auf zwei Hauptfaktoren zurückgeführt. Erstens werden die Belastungen, welche bei der Fortbewegung und beim Heben von Lasten entstehen, bei Querschnittsgelähmten auf viel weniger Gelenke verteilt als bei Nicht-behinderten Personen; zweitens ist die Anatomie der Schulter auf große Bewegungsradien ausgelegt, was für Tätigkeiten wie Drücken, Ziehen, Werfen oder dem Holen/Erreichen von Gegenständen von großem Vorteil ist aber für Stützbewegungen nachteilig sein kann, da das Schultergelenk selbst nur eine geringe strukturelle Stabilität aufweist. Beides kann das erhöhte Risiko für Überbelastungen und strukturelle

Schäden bei Patienten mit Rückenmarksverletzungen erklären [32]. Zusätzlich zu diesen Risikofaktoren, die mit der generellen Verwendung eines Rollstuhls verbunden sind, belasten Rollstuhlsportler ihre Schultern zusätzlich durch ihre sportlichen Aktivitäten. Es ist wahrscheinlich, dass schnelle, kraftvolle Bewegungen, wie sie für den Antrieb eines Rennrollstuhls erforderlich sind, die Belastung der Schultern von Para-Athleten erhöhen. Es wurde gezeigt, dass die Gelenkbelastung mit zunehmender Antriebsgeschwindigkeit ansteigt [32]. Darüber hinaus scheint eine schlechte Technik zur Entwicklung von Schulterpathologien, wie z.B. Läsionen des anterioren Labrums mit oder ohne Subluxation der langen Bizepssehne bzw. Schädigung des M. Subscapularis beizutragen. Es wurde mehrfach gezeigt, dass eine Verringerung der Kadenz zugunsten einer Vergrößerung des Hebelarms eine wirksame Strategie zur Verbesserung der mechanischen Effizienz ist [33]. Ruhige, gleichmäßige Vortriebsbewegungen mit geringerer Frequenz werden somit empfohlen, um die kumulative Gelenkbelastung zu verringern. Effiziente Hübe verringern die auf das Schultergelenk einwirkende Last, während die höhere Antriebsgeschwindigkeit trotzdem beibehalten wird [33]. Interessanterweise scheint zusätzlich auch die Position, in der die Kraft übertragen wird, entscheidend zu sein [33]. Requejo et al. zeigten, dass ein weiter posteriorer Beginn der Krafterleitung geringere maximale Gelenkkräfte hervorruft als ein späterer Beginn und ein späteres Lösen (Abbildung 1a) [33].

Als weitere modifizierbare Risikofaktoren werden Muskeldysbalancen und Kraftdefizite angeführt. Die wiederholten Propulsionsbewegungen des Rollstuhls begünstigen eine Schulterprotraktion, was eine

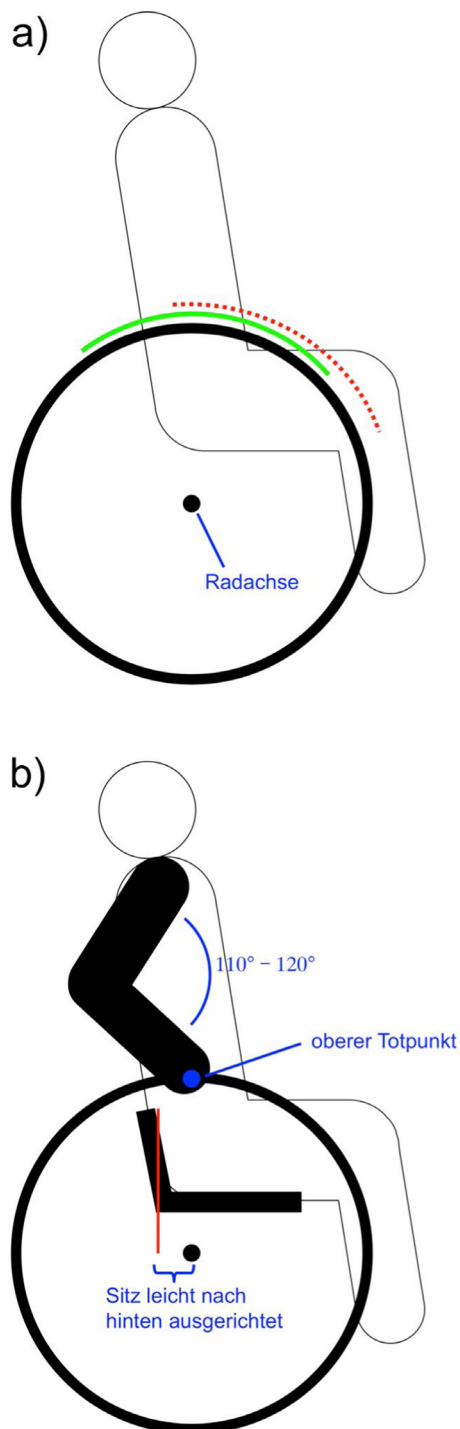


Abbildung 1

(a) Schematische Darstellung der Anschlagphase. Die grüne Linie illustriert den weiter posterioren Beginn der Anschlagphase, bei dem die Schulter weniger belastet wird, als wenn die Anschlagphase später beendet wird (rote Punktlinie).

(b) Optimale Sitzposition nach Slowik & Neptune. Hierbei ist der Ellbogen um 110° - 120° flektiert, wenn das Handgelenk auf dem oberen Totpunkt ruht. Zudem ist der Sitz, relativ zur Radachse, leicht nach hinten versetzt.

erhöhte Spannung in der anterioren Schultermuskulatur sowie eine Abschwächung der posterioren Schultermuskulatur zur Folge hat und zu einer veränderten Scapula-Position sowie zu Dyskinesie führen kann. Dies erhöht das Risiko für Schulterpathologien, insbesondere für das subakromiale Impingement-Syndrom [34]. Das Verletzungsrisiko kann durch eine zusätzlich vorliegende Schwäche der Rotatorenmanschette sogar noch erhöht werden. Der M. Deltoideus kranialisiert den Humeruskopf, was verstärkt wird, wenn die Muskeln der Rotatorenmanschette nicht in der Lage sind, dem entgegen zu wirken und den Kopf im Glenoid zu zentrieren [35]. So verringert sich der Abstand zwischen dem Akromion und dem Humeruskopf, was wiederum zum Einklemmen der Supraspinatussehne und zu deren Läsion führen kann.

Schließlich wirken sich das *Design und die Einstellung des Rollstuhls* auch auf die Schulterbiomechanik aus und können daher das Risiko einer Schulterpathologie beeinflussen. Ein Beispiel soll, obwohl es auf Computersimulationen basiert, die Auswirkung von Anpassungen der Rollstuhlsitzpositionierung auf die Schulterbiomechanik veranschaulichen. Slowik und Neptune zeigten, dass die Muskelbelastung und -effizienz durch eine Veränderung der Sitzposition beeinflusst werden kann. Die Belastung wird minimiert, wenn der Sitz relativ zur Achse leicht nach hinten ausgerichtet ist und der Ellbogenbeugewinkel zwischen 110° und 120° liegt, wenn das Handgelenk auf der Oberseite des Greifrings (oberer Totpunkt) ruht [36], (Abbildung 1b). Diese Analyse bietet einen guten Einblick in die Möglichkeiten, welche eine Rollstuhlanpassung bietet, um die Schulterbiomechanik positiv zu beeinflussen sowie Empfehlungen, die

leicht umgesetzt werden können. Dabei ist zu beachten, dass die Analyse unter Verwendung der Standard-Rollstuhlgeometrie und unter nicht-sportlichen Bedingungen durchgeführt wurde. Es ist wahrscheinlich, dass sportliche Bedingungen andere Antriebsanforderungen beinhalten und daher unterschiedliche Arten von Anpassungen erfordern. Darüber hinaus ist es wichtig zu wissen, dass das Rollstuhldesign sowie die Anforderungen der sportlichen Belastung die Antriebstechnik beeinflussen. In diesem Zusammenhang wurde kürzlich erneut hervorgehoben, dass hier noch ein deutliches Forschungsdefizit auf dem Gebiet der Konstruktion und Anpassung von Rollstuhlportgeräten besteht bei doch hohem Potential, Schulterbeschwerden zu reduzieren [37].

Prävention von Schulterbeschwerden bei Rollstuhllathleten

Im Vergleich zu Nicht-Behinderten Sportlern gibt es nur wenige Veröffentlichungen, die gebrauchsfertige Präventionsprogramme darstellen. Darüber hinaus hat nach unserem Kenntnisstand keine longitudinale Studie den Effekt von Präventionsprogrammen auf die Verletzungsrate bei Rollstuhlportlern untersucht. Dennoch basieren aktuell empfohlene Programme auf einer gewissen wissenschaftlichen Basis oder zumindest auf fundiertem Wissen aus dem Bereich der funktionellen Anatomie. Zum Beispiel lieferten Wilroy und Hibberd nach einem sechswöchigen Programm, bei denen die Außenrotatoren der Schulter, die -flexoren und die Retraktoren des Schulterblatts gekräftigt und die Innenrotation des Humerus verbessert wird, ermutigende Ergebnisse bezüglich der Reduktion

von Schulterbeschwerden [38]. Interessanterweise hat sich Biofeedback als vielversprechende Ergänzung zu herkömmlichen Präventionsprogrammen erwiesen, da es für ein längerfristiges Anhalten der positiven Auswirkungen sorgen kann. Biswas et al. verwendeten die Elektromyographie der Schultermuskulatur, um Basketballspielern ein Biofeedback zu bieten, und konnten eine bis 12 Wochen anhaltende Verringerung der Schulterbeschmerzen im Vergleich zu 8 Wochen bei den Kontrollen nachweisen [39]. Kliniker, die Inspiration für spezifische Programme zur Prävention von Verletzungen suchen, seien auf das Programm „Fit to Play“ (<http://fittoplay.org>) hingewiesen. Dieses etablierte Programm ist das Ergebnis einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und Klinikern in Norwegen. Obwohl das Programm nicht speziell für Rollstuhlfahrer gedacht ist, ist es sehr breit gefächert und deckt viele verschiedene Sportdisziplinen sowie körperregionsspezifische Programme ab. Mehrere spezifische Übungen – einzeln oder als Sequenzen – können wahrscheinlich an Rollstuhlfahrer übertragen werden. Da die Datenlage zur Wirksamkeit von empfohlenen Präventionsprogrammen bei Para-Athleten noch weitgehend fehlen, sind diese Angaben allerdings mit Vorsicht zu interpretieren. Es bleibt klar, dass mit anderen Pathomechanismen, die Prävention von Schulterpathologien beim Para-Athleten anders aussehen kann, als bei einem Sportler ohne Behinderung. Hierfür steht die klinische Expertise und Anpassungsfähigkeit der Kliniker im Vordergrund, um Präventionsstrategien individuell anpassen zu können. Trotzdem werden im Folgenden einige Anhaltspunkte für eine mögliche Präventionsstrategie gegeben: Analog zu den dargestellten Risikofaktoren muss bei der Prävention

von Verletzungen bei Rollstuhlfahrern die multifaktorielle Ätiologie berücksichtigt werden. Viele Faktoren scheinen sich gegenseitig zu beeinflussen. Während beispielsweise eine auftretende Ermüdung per se ein Risikofaktor ist, indem sie die Muskelaktivierung verändert, führt sie auch zu einer schlechten Antriebstechnik, was das Risiko einer Schulterpathologie weiter erhöht. Daher sollte die Prävention von Verletzungen in einem multidisziplinären Team durchgeführt werden (Abbildung 2).

Bewegungswissenschaftler und Techniktrainer sollten sich auf die korrekte Antriebstechnik konzentrieren. Unter Berücksichtigung der Anforderungen der Technik und der Sportart sollte dann von einem Kraft- und Konditionstrainer ein Kräftigungsprogramm für die Rotatorenmanschette und die scapulastabilisierende Muskulatur entwickelt werden. Dabei scheint es wichtig, die sportspezifischen Kraftprofile und die Kraftausdauer zu berücksichtigen, um Ermüdung zu vermeiden. Ermüdungen können zu Änderungen in dem Aktivierungsmuster der Schultermuskulatur und zu einer schlechteren Antriebstechnik führen und dabei höhere Belastungen der passiven Strukturen generieren [40]. In einem dritten Schritt sollte dann ein Physiotherapeut hinzugezogen werden, um muskuläre Dysbalancen zu überprüfen und zu minimieren. Dieser Schritt könnte Dehnübungen für die vordere Schultermuskulatur und die hintere Kapsel („Sleeper’s stretch“) umfassen, denn es scheint, dass auch die Gelenkbeweglichkeit bei Rollstuhlfahrern vermindert sein kann [41]. In einem letzten Schritt sollte die Schnittstelle zwischen dem Athleten und dem Rollstuhl von einem Ingenieur, Biomechaniker oder Ergotherapeuten überdacht und möglicherweise optimiert werden. Es ist wichtig zu beachten, dass



Abbildung 2
Bruch des Carbon-Interfaces „zum Griff“ bei einem Oberarmamputierten paralympischen Bahnradsportler.

wir nicht versuchen, ein sofort einsetzbereites Programm bereitzustellen. Vielmehr möchten wir einen möglichen Weg zur Optimierung der Prävention von Verletzungen bei Rollstuhlfahrern aufzeigen und hoffen, dadurch innovative Ideen anzustoßen. Darüber hinaus sollen die beschriebenen Schritte idealerweise nicht voneinander getrennt werden, sondern verschmelzen und sich gegenseitig beeinflussen. In der Tat ist die oben beschriebene Strategie ohne ein multidisziplinäres Team und ohne professionellen Austausch zwischen Teammitgliedern nicht denkbar.

Interessenkonflikt

Es besteht kein Interessenkonflikt.

Literatur

- [1] Y.A. Tuakli-Wosornu, E. Mashkovskiy, T. Ottesen, et al., Acute and Chronic Musculoskeletal Injury in Para Sport: A Critical Review, *Phys Med Rehabil Clin N Am* 29 (2) (2018) 205–243.
- [2] S.E. Willick, J. Lexell, Paralympic sports medicine and sports science—introduction, *PM R* 6 (8 Suppl) (2014) S1–S3.
- [3] C. Blauwet, N. Webborn, J. Kissick, et al., When van Mechelen’s sequence of injury prevention model requires

pragmatic and accelerated action: the case of para alpine skiing in Pyeong Chang 2018, *Br J Sports Med* 53 (22) (2019) 1390–1391.

- [4] N. Webborn, P. Van de Vliet, Paralympic medicine, *Lancet* 380 (9836) (2012) 65–71.
- [5] C.R. West, I.G. Campbell, R.E. Shave, et al., Resting cardiopulmonary function in Paralympic athletes with cervical spinal cord injury, *Med Sci Sports Exerc* 44 (2) (2012) 323–329.
- [6] Y. Bhamhani, Physiology of wheelchair racing in athletes with spinal cord injury, *Sports Med* 32 (1) (2002) 23–51.
- [7] P.C. De Groot, D.H. Van Kuppevelt, C. Pons, et al., Time course of arterial vascular adaptations to inactivity and paralysis in humans, *Med Sci Sports Exerc* 35 (12) (2003) 1977–1985.
- [8] C.R. West, S.C. Wong, A.V. Krassioukov, Autonomic cardiovascular control in Paralympic athletes with spinal cord injury, *Med Sci Sports Exerc* 46 (1) (2014) 60–68.
- [9] K. Pritchett, E. Broad, J. Scaramella, et al., Hydration and Cooling Strategies for Paralympic Athletes: Applied Focus: Challenges Athletes May Face at the Upcoming Tokyo Paralympics, *Curr Nutr Rep* 9 (3) (2020) 137–146.
- [10] D. Theisen, Cardiovascular determinants of exercise capacity in the Paralympic athlete with spinal cord injury, *Exp Physiol* 97 (3) (2012) 319–324.
- [11] A. Hirschmüller, K. Fassbender, J. Kubosch, et al., Injury and illness surveillance in elite Paralympians - urgent need for suitable illness prevention strategies in para athletes, *Am J Phys Med Rehabil* (2020).
- [12] K. Nas, L. Yazmalar, V. ah, et al., Rehabilitation of spinal cord injuries, *World J Orthop* 6 (1) (2015) 8–16.
- [13] L.S.P. Pinheiro, J.M. Ocarino, F.O. Madaleno, et al. Prevalence and incidence of injuries in para athletes: a systematic review with meta-analysis and GRADE recommendations. (2020), p. bjsports-2020-102823.
- [14] S.E. Willick, N. Webborn, C. Emery, et al., The epidemiology of injuries at the London 2012 Paralympic Games, *British Journal of Sports Medicine* 47 (7) (2013) 426–432.
- [15] M. Schwellnus, W. Derman, E. Jordaan, et al., Factors associated with illness in athletes participating in the London 2012 Paralympic Games: a prospective cohort study involving 49,910 athlete-

- days, *Br J Sports Med* 47 (7) (2013) 433–440.
- [16] W. Derman, M.P. Schwellnus, E. Jordaan, et al., Sport, sex and age increase risk of illness at the Rio 2016 Summer Paralympic Games: a prospective cohort study of 51 198 athlete days, *Br J Sports Med* 52 (1) (2018) 17–23.
- [17] T. Soligard, K. Steffen, D. Palmer, et al., Sports injury and illness incidence in the Rio de Janeiro 2016 Olympic Summer Games: A prospective study of 11274 athletes from 207 countries, *Br J Sports Med* 51 (17) (2017) 1265–1271.
- [18] C.A. Blauwet, D. Cushman, C. Emery, et al. Risk of Injuries in Paralympic Track and Field Differs by Impairment and Event Discipline: A Prospective Cohort Study at the London 2012 Paralympic Games. 44 (6) (2016) 1455–1462.
- [19] N. Webborn, S. Willick, C.A. Emery, The injury experience at the 2010 winter paralympic games, *Clinical Journal of Sport Medicine* 22 (1) (2012) 3–9.
- [20] K. Fagher, J. Lexell, Sports-related injuries in athletes with disabilities, *Scand J Med Sci Sports* 24 (5) (2014) e320–e331.
- [21] W. Derman, M. Schwellnus, E. Jordaan, Clinical characteristics of 385 illnesses of athletes with impairment reported on the WEB-IISS system during the London 2012 Paralympic Games, *PM R* 6 (8 Suppl) (2014) S23–S30.
- [22] L. Engebretsen, T. Soligard, K. Steffen, et al., Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012, *Br J Sports Med* 47 (7) (2013) 407–414.
- [23] O.W. Heyward, R.J.K. Vegter, S. de Groot, et al., Shoulder complaints in wheelchair athletes: A systematic review, *PLoS One* 12 (11) (2017.) e0188410.
- [24] J. Lewis, Rotator cuff related shoulder pain: Assessment, management and uncertainties, *Man Ther* 23 (2016) 57–68.
- [25] B. Hacken, C. Onks, D. Flemming, et al., Prevalence of MRI Shoulder Abnormalities in Asymptomatic Professional and Collegiate Ice Hockey Athletes, *Orthop J Sports Med* 7 (10) (2019.), p. 2325967119876865.
- [26] F.M. Bossuyt, U. Arnet, M.W.G. Brinkhof, et al., Shoulder pain in the Swiss spinal cord injury community: prevalence and associated factors, *Disability and Rehabilitation* 40 (7) (2018) 798–805.
- [27] N.S. Hogaboom, L.A. Worobey, M.L. Boninger, Transfer Technique Is Associated With Shoulder Pain and Pathology in People With Spinal Cord Injury: A Cross-Sectional Investigation, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 97 (10) (2016) 1770–1776.
- [28] M. Alm, H. Saraste, C. Norrbrink, Shoulder Pain in Persons with Thoracic Spinal Cord Injury: Prevalence and Characteristics, *Journal of Rehabilitation Medicine* 40 (4) (2008) 277–283.
- [29] J. Soo Hoo, Shoulder Pain and the Weight-bearing Shoulder in the Wheelchair Athlete, *Sports Medicine and Arthroscopy Review* 27 (2) (2019) 42–47.
- [30] M. Akbar, G. Balean, M. Brunner, et al. Prevalence of Rotator Cuff Tear in Paraplegic Patients Compared with Controls. 92 (1) (2010) 23–30.
- [31] J. Kivimäki, E. Ahoniemi, Ultrasonographic findings in shoulders of able-bodied, paraplegic and tetraplegic subjects, *Spinal Cord* 46 (1) (2008) 50–52.
- [32] A.M. Koontz, R.A. Cooper, M.L. Boninger, et al., Shoulder kinematics and kinetics during two speeds of wheelchair propulsion, *J Rehabil Res Dev* 39 (6) (2002) 635–649.
- [33] P.S. Requejo, S.J. Mulroy, P. Ruparel, et al., Relationship Between Hand Contact Angle and Shoulder Loading During Manual Wheelchair Propulsion by Individuals with Paraplegia, *Topics in spinal cord injury rehabilitation* 21 (4) (2015) 313–324.
- [34] A. Aytaç, A. Zeybek, N.O. Pekyavas, et al. Scapular resting position, shoulder pain and function in disabled athletes. 39 (5) (2015) 390–396.
- [35] R.S. Burnham, L. May, E. Nelson, et al., Shoulder pain in wheelchair athletes The role of muscle imbalance, *Am J Sports Med* 21 (2) (1993) 238–242.
- [36] J.S. Slowik, R.R. Neptune, A theoretical analysis of the influence of wheelchair seat position on upper extremity demand, *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 28 (4) (2013) 378–385.
- [37] A. Riley, C.J.S.M. Callahan, A. Review, Shoulder Rehabilitation Protocol and Equipment Fit Recommendations for the Wheelchair Sport Athlete With Shoulder Pain. 27 (2019), P.67 72.
- [38] J. Wilroy, E. Hibberd, Evaluation of a Shoulder Injury Prevention Program in Wheelchair Basketball. 27 (6) (2018) 554.
- [39] B. Ankur, D. Viney, A. Jorge, et al., The impact of electromyographic (EMG) biofeedback training on reducing shoulder pain in WB players, *International Conference of Sport Science-AESA* (3.) (2020).
- [40] F.M. Bossuyt, U. Arnet, A. Cools, et al. Compensation Strategies in Response to Fatiguing Propulsion in Wheelchair Users: Implications for Shoulder Injury Risk. 99 (2) (2020) 91–98.
- [41] J. Krzycki, T. Tischer, A.B. Imhoff, [The para-shoulder: lesions of the anterior-superior complex (Labrum, SGHL SSC) and their arthroscopic treatment], *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 144 (5) (2006) 446–448.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Anja Hirschmüller.
 Universitätsklinikum Freiburg:
 Universitätsklinikum Freiburg, 79106
 Freiburg, GERMANY
 E-Mail: anja.hirschmueller@altius.ag

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect