

Validierung der Energieverbrauchsrechnung der Sportuhren Garmin fēnix 5 und Polar M430 bei männlichen U18-A Unihockeyspielern

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Nicolai Muff

an der
Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Departement für Medizin

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Dr. Thomas Wyss

Betreuerinnen
Dr. Lilian Roos
Regina Oeschger

Winterberg, März 2019

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
1.1 Bewegungsverhalten	4
1.2 Komponenten des Energieverbrauchs	8
1.3 Messmethoden des Energieverbrauchs	9
1.4 Energieverbrauch und Sportuhren im Unihockey	12
1.5 Ziel der Arbeit	15
2 Methode	16
2.1 Untersuchungsgruppe	16
2.2 Studiendesign	16
2.3 Untersuchungsinstrumente	19
2.4 Datenauswertung	21
3 Resultate	22
4 Diskussion	27
4.1 Erkenntnisse verglichen mit anderen Publikationen	28
4.2 Stärken und Schwächen der Studie	30
4.3 Weiterführende Fragestellungen	31
5 Schlussfolgerung	32
Literaturverzeichnis	33
Anhang	38
A Probandeninformation	38
B Einwilligungserklärung	40
C Actiheart Befestigung	41
D Prüfung auf Normalverteilung	42
Dank	43

Zusammenfassung

Einleitung

Technische Geräte können anhand des Energieverbrauchs das Bewegungsverhalten im Sport und Alltag aufzeichnen. Jedoch fehlen oftmals evidenzbasierte Untersuchungen bei der Messgenauigkeit der technischen Geräte. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit untersucht, wie präzise zwei kommerzielle Sportuhren den Energieverbrauch bei männlichen U18-A Unihockeyspielern im Vergleich zu einem Referenzgerät messen.

Methode

An der Untersuchung nahmen zwanzig männliche Unihockeyspieler teil. Der Energieverbrauch wurde bei einem unihockeyspezifischen Technikparcours und bei regulären Meisterschaftsspielen gemessen. Dabei wurden die Unihockeyspieler mit den Sportuhren Garmin fēnix 5 (Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika) und Polar M430 (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland) ausgestattet. Als Referenzgerät diente das Actiheart (AH, CamnTech Ltd, Cambridge, Grossbritannien), welches neben der Herzfrequenz auch die Beschleunigungen der Unihockeyspieler erfasste.

Resultate

Die Korrelationsanalyse ermittelte sowohl bei der Garmin fēnix 5 ($r = 0.389$) wie auch bei der Polar M430 ($r = 0.331$) einen schwachen bis mässigen Zusammenhang mit dem Referenzgerät. Im Spielteil zeigte die Polar M430 einen signifikanten Unterschied von 1.03 kcal/min (9.05 %, $p = 0.000$) im Vergleich zum Referenzgerät Actiheart. Bei der Garmin fēnix 5 resultierte im Spielteil keine signifikante Abweichung zum Referenzgerät (−0.57 kcal/min, −5.01 %, $p = 0.055$). Im Technikteil zeigten sowohl die Garmin fēnix 5 (−1.91 kcal/min, −15.97 %) wie auch die Polar M430 (−1.46 kcal/min, −12.21 %) signifikante Unterschätzungen (beide $p < 0.01$) bei der Berechnung des Energieverbrauchs jeweils verglichen mit dem Referenzgerät.

Diskussion und Schlussfolgerung

Nach Lee, Kim und Welk (2014) kann eine Abweichung von weniger als ± 10 % als akzeptabel betrachtet werden. So lassen sich die Garmin fēnix 5 und die Polar M430 als valide einstufen, wenn es darum geht, den Energieverbrauch während eines Unihockeyspiels abzuschätzen. Dasselbe lässt sich jedoch nicht für den Technikparcours sagen, da dort beide untersuchten Sportuhren den Energieverbrauch hoch signifikant unterschätzten.

1 Einleitung

1.1 Bewegungsverhalten

Das Bewegungsverhalten der Schweizer Bevölkerung hat sich in den vergangenen Jahrzehnten stark verändert. Gemäss der Gesundheitsbefragung aus dem Jahr 2007 sind 35 % der Erwachsenen Bevölkerung ungenügend aktiv. Dieser Bereich kann in 19 % teilaktive und 16 % gänzlich inaktive Personen unterteilt werden (Hepa, 2013). Die teilaktive Bevölkerungsgruppe ist pro Woche weniger als 150 Minuten körperlich aktiv. Bei gänzlich inaktiven Personen liegen die wöchentlichen physischen Aktivitäten bei weniger als 30 Minuten (Hepa, 2013). In der Studie von Lamprecht, Fischer, Wiegand und Stamm (2014) wurde das Bewegungsverhalten der Bevölkerung in Winterthur, im Kanton Zürich, der Deutschschweiz und der gesamten Schweiz untersucht. Tabelle 1 fasst die Sportaktivität nach Lamprecht et al. (2014) demographisch zusammen.

Tabelle 1

Sportaktivität im Vergleich: Stadt Winterthur, Kanton Zürich, Deutsch- und Gesamtschweiz

	Winterthur	Kanton Zürich	Deutschschweiz	Gesamtschweiz
<i>Häufigkeit der Sportaktivität</i>				
nie	24	23	24	26
ab und zu / selten	4	5	5	5
etwa einmal pro Woche	15	16	17	17
mehrmals pro Woche	46	47	45	42
(fast) täglich	11	9	9	10
<i>Dauer der Sportaktivität pro Woche</i>				
nie	24	23	24	26
bis zu einer Stunde	10	11	10	10
zwei Stunden	14	15	14	14
drei bis vier Stunden	26	26	26	24
fünf bis sechs Stunden	15	14	12	12
sieben und mehr Stunden	11	11	14	14
<i>Häufigkeit und Dauer der Sportaktivität</i>				
nie	24	23	24	26
unregelmässig / selten	4	5	5	5
mindestens einmal pro Woche, aber insgesamt weniger als zwei Stunden	8	8	8	8
mindestens einmal pro Woche, insgesamt zwei Stunden und mehr	18	18	17	17
mehrmals pro Woche, plus drei Stunden	46	46	46	44
Anzahl Befragte	792	2796	7976	10622

Anmerkung. Alle Angaben in % der Wohnbevölkerung im Alter von 15 bis 74 Jahren.

Die Resultate aus allen vier Bereichen sind mehrheitlich deckungsgleich. Die ungenügend aktive Bevölkerung setzt sich in dieser Studie aus 26 % gänzlich inaktiven und 5 % teilaktiven Personen zusammen. In Winterthur treiben 72 % der Einwohner mindestens einmal pro Woche Sport, wobei sich die Untersuchungsgruppe aus Menschen im Alter von 15 bis 74 Jahren zusammensetzt. Im Vergleich zur gesamten Schweiz ist die Sportaktivität leicht erhöht (Lamprecht et al., 2014).

Laut Lamprecht et al. (2014) hat sich die Sportaktivität der Einwohner in Winterthur seit 2003 positiv verändert. Der Anteil an sportlich sehr Aktiven, welche mehrmals pro Woche Sport treiben, hat bis zum Jahr 2008 stark zugenommen. Hingegen stagnierte der Anteil an Aktiven von 2003 bis 2014. Eine Veränderung zeigte sich auch bei den Nichtsportlern. Nachdem sich ihr Anteil bis zum Jahr 2008 verkleinert hatte, nahm er bis zum Jahr 2014 wieder leicht zu (Lamprecht et al., 2014). Im Gegensatz dazu blieb der Anteil an Nichtsportlern in der ganzen Schweiz von 2000 bis 2014 konstant. Hingegen gab es eine Zunahme der sehr Aktiven. Diese Entwicklung ist auf die Annäherung der West- an die Deutschschweiz zurückzuführen (Lamprecht et al., 2014).

Geschlechterspezifisch ist das gleiche Muster in Winterthur, dem Kanton Zürich und der ganzen Schweiz erkennbar. Die Männer treiben im Vergleich zu den Frauen geringfügig mehr Sport. In Winterthur gibt es bei den Nichtsportlern und Gelegenheitssportlern keine Unterschiede zwischen Männern und Frauen (Lamprecht et al., 2014). Bei den Jugendlichen und jungen Erwachsenen zwischen 15 und 29 Jahren ist die Anzahl an sportlich sehr Aktiven besonders hoch. Anschliessend nimmt der Anteil an sehr Aktiven kontinuierlich ab und steigt im Seniorenalter ab 60 Jahren wieder an. Diese Entwicklung ist jedoch nur bei den Senioren in Winterthur beobachtbar. Ansonsten bleibt der Anteil von sehr aktiven Senioren in der ganzen Schweiz etwa gleich hoch wie im Alter zwischen 30 und 59 Jahren (Lamprecht et al., 2014).

Es gibt verschiedene Faktoren, welche die Dauer und Regelmässigkeit der Sportaktivität beeinflussen. Entscheidend bei vielen Sportlern sind die Nationalität, die Bildung und das Einkommen. Demnach steigt dank einer guten Bildung das Einkommen, wodurch es mehr Möglichkeiten gibt, Sport zu treiben. Deutlich erkennbar ist diese Erkenntnis bei den Nichtsportlern in Winterthur. In dieser Aktivitätsgruppe weisen doppelt so viele Menschen lediglich eine obligatorische Schulausbildung auf wie Menschen mit einer Berufs- oder tertiären Bildung. Bezüglich Einkommen ist eine klare Tendenz vorhanden. Je höher das Haushaltseinkommen ist, desto höher ist auch der Anteil an sehr Aktiven (Lamprecht et al., 2014).

Die Befragung zeigte ebenfalls, dass die Nationalität einen Einfluss auf das Sporttreiben hat. Die Schweizer sind sportlich deutlich aktiver als ausländische Personen, welche in der

Schweiz leben. Ein Drittel der ausländischen Männer bleibt gänzlich inaktiv oder treibt sehr selten Sport. Bei den Frauen ist der Anteil mit 42 % noch höher. Bei den sehr Aktiven gehen rund 40 % der Männer und ein Drittel der ausländischen Frauen mehrmals pro Woche einer sportlichen Aktivität nach. Der Anteil an Gelegenheitssportlern und Aktiven ist bei ausländischen Personen eher klein (Lamprecht et al., 2014).

1.1.1 Ursachen und Empfehlungen. Aufgrund körperlicher Inaktivität gab es schweizweit im Jahr 2011 1'153 Todes- und 326'310 Krankheitsfälle (Mattli et al., 2014). Dadurch entstanden medizinische Kosten in Höhe von 1.1 Milliarden Franken. Laut Mattli et al. (2014) wird die Gesamtsumme der entstandenen Kosten in 29 % kardiovaskuläre Krankheiten (ischämische Herzerkrankungen, Hirnschlag und Hypertonie), 28 % Rückenschmerz, 26 % Depressionen und 16 % Osteoporose, Diabetes Typ 2, Adipositas, Kolonkarzinom und Brustkrebs unterteilt.

Ursachen und verschiedene Konsequenzen des Bewegungsmangels erläuterte Montoye (2000) folgendermassen: Obwohl regelmässige körperliche Aktivität einen positiven Einfluss auf die Gesundheit hat, fällt es den Menschen immer schwerer, sich zu bewegen. Der technologische Fortschritt und die Digitalisierung im Berufsalltag und in der Freizeit vereinfachen das Leben und führen zu einem inaktiveren Lebensstil, wofür weniger Energie aufgewendet werden muss. Zudem sind das Verkehrsnetz und Transportwesen in der Schweiz sehr gut ausgebaut. Aufgrund dieser Umstände wird die körperliche Beanspruchung in Alltagssituationen auf ein Minimum herabgesetzt (Hepa, 2013).

Die Zunahme chronischer Krankheiten ist eine Folge dieses negativen Trends (World Health Organization, 2010). Viele ansteckende und infektiöse Krankheiten wurden durch chronische Krankheiten als Todes- und Behinderungsursache ersetzt (Montoye, 2000). Daher ist anzunehmen, dass zwischen inaktivem Lebensverhalten und chronischen Krankheiten ein starker Zusammenhang besteht. Weiter wird die Bedeutung der Bewegung mit Blick auf die weltweite vorzeitige Sterblichkeit verstärkt. Bewegungsmangel steht momentan an vierter Stelle der vorzeitigen Todesursachen (Hepa, 2013).

Um chronischen Krankheiten vorzubeugen, liegt in der Schweiz die Basisempfehlung für körperliche Bewegung bei Erwachsenen bei mindestens 150 Minuten pro Woche in Form von Alltagsaktivitäten oder Sport bei mindestens mittlerer Intensität. Alternativ kann diese Empfehlung auch durch Sport mit hoher Intensität erfüllt werden, wobei die Basisempfehlung bei mindestens 75 Minuten pro Woche liegt (Hepa, 2013). Regelmässige Bewegung wirkt sich nicht nur positiv auf das körperliche Wohlbefinden aus, sondern hat zusätzlich einen mentalen

Effekt (Hepa, 2013). Bei körperlicher Bewegung oder sportlichen Aktivitäten entsteht schnell eine gute Stimmung, wodurch das Selbstwertgefühl gesteigert wird. Viele Menschen nützen physische Aktivitäten, um Stress abzubauen und vom beruflichen Alltag abzuschalten.

Mit Bewegung kann in jedem Alter und auch nach jahrelanger Inaktivität begonnen werden (Hepa, 2013). Jedoch gibt es keine gesundheitliche Depotwirkung für Menschen, welche im Jugend- und frühen Erwachsenenalter viel Sport getrieben haben und anschliessend gänzlich inaktiv bleiben. Die Bewegungsaktivität muss ständig beibehalten werden, um die Leistungsfähigkeit auf einem konstanten Niveau zu halten (Hepa, 2013). Einen positiven Effekt hingegen hat die Bewegung im Kindes- und Jugendalter auf die Knochengesundheit. Regelmässige Bewegung und Förderung der koordinativen und konditionellen Fähigkeiten im Kindesalter haben eine nachhaltige Wirkung (Hepa, 2013). Der Aufbau von Knochenmasse durch gewichts- und stossbelastende Aktivitäten kann mit zunehmendem Alter nur noch teilweise gewährleistet werden. Weiter hat das Schweizerische Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH) zwischen 2013 und 2016 eine Studie über das Bewegungsverhalten von Kindern im Alter von 6 bis 16 Jahren durchgeführt (Gesundheitsförderung Schweiz, 2016). Die Ergebnisse zeigten auf, dass die Kinder während des Tages 90 % der Zeit liegend, sitzend oder in leichter Intensität verbringen. Nur durchschnittlich 78.6 Minuten (10 %) verbringen sie in einem körperlich aktiven Zustand. Dabei erreichen nur 64 % der Kinder die Bewegungsempfehlung von mindestens 60 körperlich aktiven Minuten pro Tag (Gesundheitsförderung Schweiz, 2016). Jedoch können die Eltern mit ihrem Bewegungsverhalten einen positiven Einfluss auf ihre Kinder haben. Aktive Eltern bewegen sich mehr mit ihren Kindern. Zudem besteht bei der Anzahl Kinder pro Haushalt ein starker Zusammenhang mit der körperlichen Bewegung. Im Gegensatz zu Einzelkindern animieren sich Geschwister zu mehr Bewegung und sind dadurch aktiver (Gesundheitsförderung Schweiz, 2016).

1.1.2 Neue Technologien. Ein Mittel, um das tägliche Bewegungsverhalten zu kontrollieren, ist der Einsatz von neuen Technologien. Gemäss Brandes, Pischke, Steenbock, Zeeb und Pigot (2016) entstand in den vergangenen Jahren ein kommerzieller Markt für Sportuhren, Fitness-Apps und Fitness-Tracker. Die Daten der Sportuhren sind entweder über die Uhr, die Applikation auf dem Smartphone oder die Software auf dem Computer ersichtlich. Fitness-Apps laufen nur über die heruntergeladenen Applikationen auf dem Smartphone. Fitness-Tracker werden meistens am Handgelenk oder der Hüfte getragen und liefern die Daten auf einem kleinen Bildschirm auf dem Gerät oder können je nach Modell auf die passende Smartphone-Applikation übermittelt werden (Brandes et al., 2016).

Die verschiedenen technischen Geräte, oftmals auch «Wearables» genannt, erreichen fast jede Zielgruppe. Die Installation und die Benützung sind meistens sehr simpel und im Preissegment gibt es von Gratisprodukten bis zu teuren Exemplaren für jedes Bedürfnis das passende Gerät. Zudem gibt es die Wearables in verschiedenen Designs und Grössen (Brandes et al., 2016). Ebenso vielfältig sind sie in ihren Funktionen. Je nach Modell und Ausstattung können der Kalorienverbrauch, die Herzfrequenz, die Schrittzahl sowie die total zurückgelegte Distanz angezeigt werden. Diese Parameter werden durch integrierte Beschleunigungs-, Herzfrequenz-, Winkel- und Wärmesensoren gemessen. Einige Geräte beinhalten ein Global Positioning System (GPS) und ermitteln mit dieser Funktion genaue Orts- und Bewegungsdaten, welche die anderen Funktionen unterstützen (Brandes et al., 2016).

Laut Bravata et al. (2017) steigert die Überprüfung der Werte die Motivation der Nutzerinnen und Nutzer. Die Daten können über einen langen Zeitraum hinweg jederzeit abgerufen und allfällige Fortschritte festgestellt werden. Zudem lässt sich die sportliche Aktivität mit anderen Nutzerinnen und Nutzern vergleichen. Die individuelle Zielsetzung und unverbindliche Ausübung der sportlichen Aktivität ist bei vielen sehr beliebt. Mit diesen technischen Hilfsmitteln kann das Bewegungsverhalten positiv beeinflusst und die körperliche Aktivität erhöht werden (Kooiman et al., 2015).

1.2 Komponenten des Energieverbrauchs

Laut Caspersen, Powell und Christenson (1985) wird jede körperliche Bewegung als physische Aktivität definiert, wenn die Skelettmuskeln eine Arbeit verrichten und Energie verbraucht wird. Die körperliche Aktivität kann in die Bereiche Dauer, Häufigkeit, Intensität und Art der körperlichen Aktivität unterteilt werden und ist daher multidimensional (Barisic, Leatherdale & Kreiger, 2011). Neben den erwähnten vier Bereichen ist die konstitutionelle Veranlagung des Menschen ein weiterer wichtiger Faktor des Energieverbrauchs. Je schwerer ein Mensch ist, desto mehr Energie wird benötigt. Demnach unterscheidet sich der tägliche Energiebedarf individuell und setzt sich aus den Bereichen Grundumsatz, körperliche Aktivität und Thermogenese zusammen (Barisic et al., 2011).

1.2.1 Grundumsatz. Beim Grundumsatz (60-70 %) wird der Energieverbrauch definiert, welcher morgens in Ruhe liegend, nüchtern (mindestens seit 12 Stunden keine Nahrungsaufnahme) und bei einer Umgebungstemperatur von 20-28°C gemessen wird (de Marées, 2003). Diese Bedingungen müssen gewährleistet sein, damit mit dem notwendigen Energieaufwand

die grundlegenden Körperfunktionen arbeiten. Der Grundumsatz variiert und ist abhängig von Alter, Geschlecht, Grösse und Gewicht.

1.2.2 Körperliche Aktivität. Einen weiteren Einfluss auf den täglichen Energiebedarf hat die körperliche Aktivität (20-30 %). Sie setzt sich aus Alltagsarbeiten, Bewegungen aus beruflichen Gründen und Sport zusammen. Vor allem die willkürlichen physischen Aktivitäten, wie Sport treiben, haben einen entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch. Der Energieverbrauch bei der Aktivität wird von der Dauer und Intensität beeinflusst (de Marées, 2003).

1.2.3 Thermogenese. Bei der Thermogenese (10 %) wird Energie für die Aufnahme, Verarbeitung und Verdauung von Nahrung benötigt. Der menschliche Körper braucht für diesen Vorgang mehr Sauerstoff und produziert mehr Hitze. Dadurch steigt der tägliche Energiebedarf (de Marées, 2003).

1.2.4 Kalorien. Besonders für Sportlerinnen und Sportler gibt der Energieverbrauch nach einer körperlichen Aktivität im Training oder Wettkampf wichtige Informationen über das entstandene Energiedefizit. Durch die unmittelbare Einnahme von Kohlenhydraten und Fetten nach einer körperlichen Aktivität kann das Energiedefizit wieder ausgeglichen werden (Knechtle, 2002). Zudem fördert die sofortige Versorgung der Energiespeicher die Regeneration. Werden nicht genügend Kalorien aufgenommen, erschöpft sich der Glykogenspeicher und es kommt zur Ermüdung und zum Gewichtsverlust (Knechtle, 2002).

Die Kalorie ist die Messeinheit für den Begriff Energie. Heutzutage wird bei allen Lebensmitteln die Energieangabe auf den Etiketten mit Kilokalorien (kcal) und Kilojoule (kJ) angegeben. Dabei entsprechen 0.239 kcal einem kJ.

1.3 Messmethoden des Energieverbrauchs

Bereits in der Studie von LaPorte, Montoye und Caspersen (1985) gab es über dreissig verschiedene Messmethoden, um den Energieverbrauch zu ermitteln. Eine optimale Messmethode gibt es noch nicht, vielmehr sollte die Technik auf die Anforderung der Untersuchung abgestimmt sein. Sie sollte genau, präzise, objektiv und einfach bedienbar sein. Gemäss Ainslie, Reilly und Westerterp (2003) gibt es verschiedene Verfahren, um den Energieverbrauch zu ermitteln. In Tabelle 2 sind die verschiedenen Methoden mit ihren Vor- und Nachteilen zusammengefasst.

Tabelle 2

Zusammenfassung der Methoden zur Messung des Energieverbrauchs (Ainslie et al., 2003)

Technik	Gebrauchszeit	Vorteile	Einschränkungen
Direkte Kalorimetrie	1-7 Tage	Direkte und präzise Messung des EE	Eingeschränkte Bewegungsmöglichkeiten; nur eine Person zum selben Zeitpunkt; hohe Kosten
DLW	1-3 Wochen	Anwendbar bei mehreren Einzelpersonen und Feldbedingungen; EE wird über lange Zeiträume gemessen, ist sicher und wird nicht durch normale physiologische Zustände gestört	Hohe Kosten der ^{18}O - Eingeschränkte Anwendung bei grossen Gruppen; erfordert hochentwickelte Ausrüstung bei der Analyse; Fehler möglich, wenn FQ nicht bekannt ist; keine Informationen über kurze oder spezifische Zeiträume der Aktivität
Indirekte Kalorimetrie	< 9 Stunden	Präzise Messung des EE und der Energiebereitstellung während Ruhe- und Steady-State-Aktivitäten.	Messung von freien Bewegungen nicht möglich; hohe Kosten der Systeme
Indirekte Kalorimetrie portables System	< 9 Stunden	Einzelbeurteilung während verschiedenster Aktivitäten; wiederverwendbar	Hohe Kosten und nur kleine Gruppen; ungenaue Schätzung des EE bei Nicht-Steady-State-Aktivitäten
Herzfrequenz – Überwachung	1-3 Wochen	Liefert Informationen über die verbrachten Zeiten in den hochintensiven Aktivitäten; günstig und wiederverwendbar	Beeinflusst von anderen Faktoren als nur von der körperlichen Aktivität; schwere Fehler bei der Schätzung des EE möglich
Fragebögen, Aktivität und Nahrungsbefragung	Unlimitiert; 1-2 Wochen	Kostengünstig; Möglichkeit von grossen individuellen Kohortenstudien	Schlechte individuelle Befolgung und Erfassungsfehler; EE-Schätzungen basieren überwiegend auf Männern; begrenzte Validierungen gegenüber der DLW-Methode
Bewegungssensoren	1-2 Wochen	Hervorragendes Mittel, um Interventionen zur Steigerung der körperlichen Aktivität zu evaluieren; kostengünstig und einsetzbar bei grossen Populationen	Einachsige Sensoren: nicht empfindlich genug für qualitative EE; dreiaxsig: Messung der Beschleunigung in der vertikalen, horizontalen und mediolateralen Ebene; bietet eine sinnvolle Messung des EE, aber immer noch limitiert in der Präzision
Kombinierte Systeme	keine Angaben	Stellen sicher, dass Herzfrequenzerhöhungen Reaktionen von körperlichen Aktivitäten repräsentieren	Mangel an Validierungsstudien; keine kommerziellen Systeme auf dem Markt

Anmerkungen. DLW = doubly labelled water; EE = Energieverbrauch (energy expenditure); FQ = Essens-Quotient (food-quotient); Steady State = gleichbleibender Zustand; ^{18}O = Sauerstoffisotop.

Die Probanden dürfen in ihren physischen Aktivitäten nicht eingeschränkt werden und die Messmethode sollte den Auswirkungen standhalten. Weitere wichtige Faktoren sind die Anwendung bei einer grossen Populationsgruppe, ein geringer Zeitaufwand sowie die kontinuierliche und detaillierte Aufzeichnung der körperlichen Aktivitäten während der Messung (Livingstone, Robson, Wallace & McKinley, 2003).

1.3.1 Herzfrequenzmessung. Die Herzfrequenz wird seit den siebziger Jahren mit portablen Geräten gemessen und gilt als objektive Methode, um den Energieverbrauch zu erfassen (Janz, 2002). Bei einer körperlichen Belastung steigt neben der Herzfrequenz auch die Sauerstoffzufuhr. Daher steht der Sauerstoffverbrauch in einem fast linearen Zusammenhang mit der Herzfrequenz, welche als Schätzung des Energieverbrauchs verwendet werden kann (Montoye, Kemper, Sarris & Washburn, 1996). Im Sportbereich lässt sich die Herzfrequenz mittels Sportuhr am Handgelenk oder Brustgurt aufzeichnen. Die gewichtsarmen und relativ günstigen Geräte gelten als valide und können Daten über einen längeren Zeitraum aufzeichnen (Janz, 2002). Vor der Messung sollte das Gerät auf die untersuchende Person kalibriert werden und jede einzelne Minute aufzeichnen (Li, Deurenberg & Hautvast, 1993). Limitationen zeigen die Herzfrequenzmessung bei Aktivitäten mit niedriger Intensität und Ruhe (Luke, Maki, Barkey, Cooper & McGee, 1997). Die Herzfrequenz kann jedoch auch aufgrund anderer Umstände als einer körperlichen Aktivität ansteigen. Das Wetter ist imstande, die Herzfrequenz durch warmes, kaltes oder feuchtes Klima zu beeinflussen. Die körperliche Fitness, Krankheiten und die Art der Bewegung können zu einer steigenden Herzfrequenz führen. Ein weiterer Faktor ist die Einnahme von Koffein oder anderen aufputschenden Mitteln (Melanson & Freedson, 1996).

1.3.2 Beschleunigungsmesser. Der Pedometer (Schrittzähler) ist ein simples Messinstrument, um die körperliche Bewegung zu erfassen. Die meistens an der Hüfte oder am Fuss getragenen Pedometer sind sehr klein und schränken die Bewegungsausführung nicht ein. Sie messen vertikale Bewegungen und sind daher vor allem für das Gehen und Laufen geeignet (Crouter, Schneider, Karabulut & Bassett, 2003). Bei jedem Schritt reagiert der Pedometer mit einem Ausschlag, welcher in der Summe die zurückgelegte Distanz wiedergibt, sofern die durchschnittliche Schrittlänge der Versuchsperson erfasst wurde (Crouter et al., 2003). Mehrere Studien zeigen, dass der Pedometer für Bewegungen mit hoher Geschwindigkeit und Aktivitäten, die mehrheitlich oberhalb der Hüfte erfolgen, nicht geeignet ist. Weiter zeigt er bei Sportarten wie Fahrradfahren, Rudern und Gewichtheben grosse Abweichungen (Corder,

Brage & Ekelund, 2007; Hendelman, Miller, Baggett, Debold & Freedson, 2000). Um den Energieverbrauch abzuschätzen, ist der Pedometer daher lediglich beim Gehen und Laufen geeignet (Vanhees et al., 2007).

Der Akzelerometer ist ein moderner Bewegungssensor mit erweiterten Funktionen, um die Intensität, Dauer und Frequenz einer Aktivität zu messen. Gemäss der Studie von Troiano (2005) haben Akzelerometer in den vergangenen Jahren ein grosses Interesse in der Wissenschaft entfacht. Sie sind kostengünstig in der Anschaffung und bei grossen Populationen einsetzbar. Die in ihnen enthaltenen kleinen Piezokristalle reagieren bei einer Bewegung auf die Beschleunigung und messen die daraus entstandene elektrische Spannungsveränderung. Auf dieser Grundlage können sie Beschleunigungswerte wiedergeben (Vanhees et al., 2007). Neben vertikalen Bewegungen können auch horizontale und seitliche Aktivitäten gemessen werden. Ausschlaggebend dafür ist die unterschiedliche Anordnung der Piezokristalle. Dadurch kann ein Akzelerometer kleine und langsame Bewegungen bei stehenden und sitzenden Aktivitäten aufzeichnen (Westerterp, 2009).

Aufgrund seiner kleinen Grösse ist die Bewegungsausführung nicht eingeschränkt. Idealerweise wird der Sensor an der linken oder rechten Hüfte befestigt, um Bewegungen der unteren Extremitäten und des Oberkörpers zu erfassen. Ebenfalls gute Resultate und einen angenehmen Tragekomfort zeigte die Befestigung an der Taille oder am Brustkorb (Westerterp, 2009). Die Daten aus verschiedenen Studien lieferten gute Ergebnisse bei der Ermittlung des Energieverbrauchs zwischen Akzelerometer und Referenzmethoden (Bouten, Westerterp, Verduin & Janssen, 1994; Hendelman et al., 2000). Limitiert sind die Akzelerometer bei körperlichen Aktivitäten, welche in einem isometrischen Zustand erfolgen. Bei dieser Haltearbeit der Muskulatur können Bewegungssensoren keine Bewegungen messen und dadurch nicht den Energieverbrauch ermitteln. Gemäss Chen und Bassett (2005) ist daher die Kombination von Beschleunigungssensoren mit Herzfrequenzmessgeräten vorteilhaft.

1.4 Energieverbrauch und Sportuhren im Unihockey

Der schweizerische Unihockeyverband (Swiss Unihockey) hat die Vision, dass die Sportart Unihockey bis zum Jahr 2028 bei den Olympischen Spielen vertreten sein und die Schweizer Nationalmannschaft der Männer die erste Goldmedaille gewinnen soll (Swiss Unihockey, 2015). Bei Grossanlässen wie der Weltmeisterschaft absolvieren die teilnehmenden Mannschaften bis zu sechs Spiele innert acht Tagen. Für die Spielerinnen und Spieler ist dieser Umstand bereits in der Vorbereitungsphase und während des Grossanlasses mit hohen Belastungen verbunden. Eine ähnliche körperliche Belastung über mehrere Tage untersuchten

Briggs et al. (2015) im Fussball. In einer Studie ermittelten sie bei professionellen Nachwuchsfussballspielern in England die Energieaufnahme sowie den Energieverbrauch während einer normalen Trainingswoche mit anschliessendem Meisterschaftsspiel am Wochenende. Die Nachwuchsfussballspieler notierten während sieben Tagen die Energieaufnahme in einem Ernährungstagebuch. Der Energieverbrauch wurde mit einem Akzelerometer ermittelt, welcher von allen Probanden an der Hüfte getragen wurde. Während der Woche trainierten sie an vier Tagen, konnten sich an zwei Tagen erholen und absolvierten ein Meisterschaftsspiel am Wochenende (Briggs et al., 2015). Die Resultate aus dieser Studie verdeutlichten, dass es signifikante Unterschiede zwischen Energieaufnahme und -verbrauch gab. Die Energieaufnahme war deutlich geringer als der Energieverbrauch. Daraus resultierte ein klares Energiedefizit. Besonders nach harten Trainings und Meisterschaftsspielen war ein deutliches Energiedefizit beobachtbar (Briggs et al., 2015).

Ein langfristiges Energiedefizit kann enorme Einschränkungen der physischen und psychischen Entwicklung der Nachwuchsfussballspieler bedeuten und sie können nicht mehr ihre geforderten Leistungen erbringen (Briggs et al., 2015). Für Jeukendrup und van Diemen (1998) ist daher die Aufzeichnung der Trainings mittels technischer Geräte essenziell, um optimale Trainingseffekte zu erzielen und Übertraining zu vermeiden. Zudem liefern die technischen Geräte objektive Ergebnisse und sind wiederverwendbar. Gemäss Jeukendrup und van Diemen (1998) liefert vor allem die Ermittlung der Herzfrequenz wichtige Informationen über die Intensität der Trainings und Wettkämpfe, auf deren Grundlage weitere Planungsschritte im Trainings- und Wettkampfplan bestimmt werden können. Weiter kann die körperliche Belastung in Echtzeit während Trainings oder Wettkämpfen von modernen tragbaren Sensoren aufgezeichnet werden. Dadurch erhalten die Betreuer einen aktuellen Einblick in die Bewegungsmuster ihrer Athleten und können sofort reagieren, falls die Intensität nicht den Vorgaben entspricht (Li et al., 2016).

Neben der Validierung des Energieverbrauchs befasste sich die Studie von Konarski, Matuszynski und Strzelczyk (2006) mit der Frage, welche Gründe auf die unterschiedliche Höhe des Energieverbrauchs zurückschliessen. Daher untersuchten sie unterschiedliche defensive Teamtaktiken anhand der Herzfrequenz während eines Landhockeyspiels. Mittels Herzfrequenz wurde anschliessend der Energieverbrauch ermittelt (Konarski, Matuszynski & Strzelczyk, 2006). Im Landhockey und Unihockey existieren die gleichen defensiven Teamtaktiken. Die bekanntesten Teamtaktiken sind die Manndeckung, die Raumdeckung und eine Kombination aus Mann- und Raumdeckung. Bei der Manndeckung teilen sich die verteidigenden Spieler auf die gegnerischen angreifenden Spieler auf. Jeder Spieler ist für einen gegnerischen Spieler

verantwortlich und versucht ihn möglichst eng zu decken. Die Manndeckung ist daher mit sehr viel Laufarbeit verbunden. Dementsprechend ist eine gute physische Verfassung für das Manndeckungssystem enorm wichtig (Konarski, Matuszynski & Strzelcyk, 2006). Beim Raumdeckungssystem ist jeder Spieler für einen definierten Raum verantwortlich. Sie rennen den gegnerischen Spielerin nicht überall hinterher, sondern übergeben den gegnerischen ballführenden Spieler an einen Mitspieler, wenn dieser den eigenen Raum verlässt. Die verteidigende Mannschaft versucht dadurch das gegnerische Team in ungefährliche Zonen auf dem Spielfeld zu lenken (Konarski, Matuszynski & Strzelcyk, 2006). Die Studie untersuchte bei zehn polnischen Nationalspielern die Herzfrequenz während zwei Landhockey Freundschaftsspielen gegen Russland. Im ersten Freundschaftsspiel praktizierten sie die Manndeckung und im zweiten Freundschaftsspiel die Raumdeckung. Das Polar Team System (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland) zeichnete die Herzfrequenz mittels Brustgurt auf. Die Resultate zeigten, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden defensiven Teamtaktiken gab. Die durchschnittliche Herzfrequenz, die maximale Herzfrequenz sowie der Energieverbrauch waren bei der Manndeckung signifikant höher im Vergleich zur Raumdeckung (Konarski, Matuszynski & Strzelcyk, 2006). Weiter wurden die Messungen in die verschiedenen Spielpositionen unterteilt. Im Landhockey wie auch im Unihockey werden die Spieler auf den Positionen in der Verteidigung, im Mittelfeld und im Angriff eingesetzt. Auf allen drei Spielpositionen waren die durchschnittliche Herzfrequenz und maximale Herzfrequenz im Raumdeckungssystem tiefer. Trotz eines signifikant tieferen Energieverbrauch über alle Spielpositionen im Raumdeckungssystem, war der Energieverbrauch bei der Unterteilung in die drei Spielpositionen im Mittelfeld und Angriff höher (Konarski, Matuszynski & Strzelcyk, 2006). Diese Erkenntnisse sind auch im Unihockey im Hinblick auf zukünftige Grossanlässe von grosser Bedeutung. In jedem Verein oder Nationalteam werden individuelle Teamtaktiken verfolgt. Oftmals fehlen jedoch wissenschaftlich belegte Daten und Instrumente, um die Teamtaktik zu analysieren und optimieren.

Wyss und Mäder (2011) untersuchten den Energieverbrauch anhand verschiedener technischer Geräte bei Rekruten der Schweizer Armee während verschiedener Alltagsaktivitäten. Die Auswertung gab eine detaillierte Auskunft über deren individuelle körperliche Belastung. Diese Information ist für Unihockeyspieler bei Grossanlässen und im normalen Meisterschaftsbetrieb ebenfalls sehr hilfreich. Bei acht bis zwölf Trainingsstunden pro Woche und mindestens 22 Qualifikationsspielen in der Meisterschaft können die Daten von Messgeräten einen grossen Einfluss auf die Verletzungsprävention und Belastungssteuerung haben.

Aktuell existieren keine Studien zur Energieverbrauchsberechnung von Sportuhren in einer intermittierenden Sportart wie Unihockey. Bislang wurde der Energieverbrauch von Sportuhren im aeroben und anaeroben Bereich der Aktivität Rennen untersucht (Roos, Taube, Beeler & Wyss, 2017). Das Bewegungsverhalten im Unihockey ist multidirektional und beinhaltet neben vielen Richtungswechseln ständige «Stop-and-go»-Bewegungen. Weiter hat der ständige Einsatz des Schlägers einen Einfluss auf das Laufverhalten. Besonders das Laufverhalten des ballführenden Spielers erfolgt in einer leicht gebückten Haltung. Daher sind im Rahmen dieser Masterarbeit die Unterschiede und Messgenauigkeit zweier Sportuhren mit einem anerkannten Referenzgerät auszuwerten. Es werden zwei handelsübliche Geräte der führenden Sportuhrenanbieter Garmin und Polar verwendet. Es gilt zu prüfen, ob die Garmin fenix 5 oder die Polar M430 den Energieverbrauch in der Spielsportart Unihockey im Vergleich zum Referenzgerät Actiheart präzise messen kann.

1.5 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist herauszufinden, wie genau die Daten der Energieverbrauchsberechnung der Sportuhren Garmin fenix 5 und Polar M430 im Vergleich mit dem Referenzgerät Actiheart sind. Dazu wird der gemessene Energieverbrauch bei männlichen U18-A Unihockeyspielern in einem Spiel- und Technikteil verglichen.

Konkrete Fragestellung:

Wie präzise berechnen die Sportuhren Garmin fenix 5 und Polar M430 den Energieverbrauch in einem Spiel- und Technikteil bei männlichen U18-A Unihockeyspielern im Vergleich zum Referenzgerät Actiheart?

2 Methode

2.1 Untersuchungsgruppe

An der Untersuchung nahmen zwanzig männliche Unihockeyfeldspieler (Alter: 16.1 ± 0.64 Jahre; Grösse: 1.75 ± 0.05 m; Gewicht: 63.38 ± 5.57 kg) des Unihockeyvereins HC Rychenberg Winterthur teil. Die Unihockeyspieler spielen in der höchsten nationalen Alterskategorie U18-A und besitzen für die Saison 2018/2019 eine gültige Lizenz von Swiss Unihockey. Davon sind fünf Spieler Mitglied der U17-Nationalmannschaft. Sechzehn Spieler haben eine linke und vier eine rechte Schlägerauslegung. Bei der Untersuchung wurden nur Unihockeyspieler berücksichtigt, welche keine körperlichen Beschwerden oder Dispensen hatten. Die Probanden wurden vor der Untersuchung schriftlich und mündlich über den Inhalt, den Ablauf und die Ziele der Studie (Anhang A) informiert. Die Teilnahme war für alle Probanden freiwillig und wurde durch die Unterzeichnung der Einwilligungserklärung (Anhang B) eines Erziehungsberechtigten bestätigt.

2.2 Studiendesign

Die Datenerhebung erfolgte während fünf Wochen im Raum Winterthur. Es wurde pro Person ein Zeitaufwand von 90 Minuten eingeplant, wobei die effektive Messzeit durchschnittlich 30 Minuten betrug. Dabei wurden immer zwei Probanden gleichzeitig getestet. Die Probanden absolvierten in der Spielsportart Unihockey einen Spiel- und Technikteil, welcher jeweils nicht am gleichen Tag stattfand. Zu Beginn der Messung wurden die Probanden mit den Sportuhren Garmin fenix 5 und Polar M430 sowie dem Referenzgerät Actiheart ausgerüstet. Um die Datenerhebung der Sportuhren nicht zu beeinflussen, trugen sie die Garmin fenix 5 und die Polar M430 nicht am gleichen Handgelenk. Die Verteilung der Sportuhren erfolgte randomisiert. Eine Hälfte der gleichen Schlägerauslegung trug die Garmin fenix 5 am linken und die Polar M430 am rechten Handgelenk. Die andere Hälfte trug die Garmin fenix 5 am rechten und die Polar M430 am linken Handgelenk. Weiter wurden die anthropometrischen Angaben wie Gewicht und Grösse vorgängig bei allen Probanden ermittelt und zusätzlich mit den Angaben Alter und Geschlecht auf beiden Sportuhren erfasst. Bei der Garmin fenix 5 wurde die Messfunktion Multisport verwendet. Die Polar M430 verfügte über die Aktivitätsfunktion Floorball (Unihockey). Die GPS-Funktion wurde bei beiden Sportuhren vorgängig deaktiviert. Das Referenzgerät war mittels zwei Standardelektrokardiogramm(EKG)-Elektroden an den Probanden befestigt. Dabei wurden vorgängig die Hautstellen auf dem

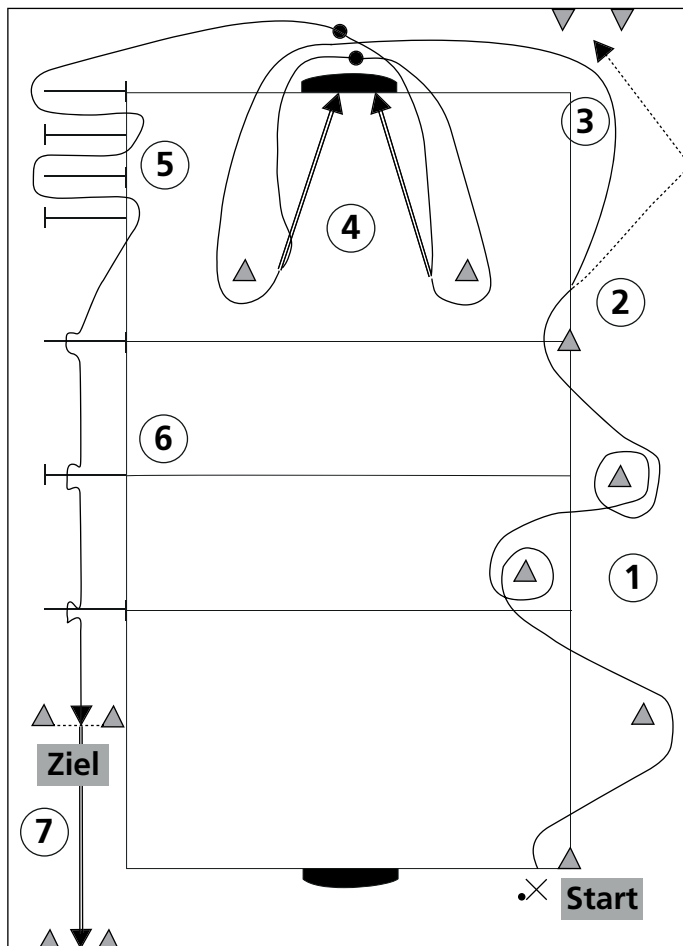
Brustbein und oberhalb der linken Brustwarze (Anhang C) mit einem Schleifpapier leicht abgerieben. Dieser Vorgang gewährleistete die Übermittlung des Herzschlags via Standard-EKG-Elektroden zum Referenzgerät. Das Actiheart-Verbindungskabel wurde waagrecht und nicht zu straff auf den Standard-EKG-Elektroden befestigt (The Actiheart User Manual, 2018). Es galt, den Bewegungsumfang der Probanden nicht zu beeinträchtigen. Die korrekte Platzierung der Elektroden wurde mit dem Signaltest in der Computersoftware (Actiheart, CamnTech Ltd, Cambridge, Grossbritannien) überprüft. Die Probanden mussten während zwei Minuten stillstehen und durften nicht sprechen. Anschliessend wurde das Referenzgerät mittels Step Test kalibriert. Dabei absolvierten beide Probanden gleichzeitig bei kontinuierlicher Rhythmussteigerung den achtminütigen Step Test (The Actiheart User Manual, 2018). Die Computersoftware gab mit der Anweisung «up-up-down-down» vor, wann die Probanden die Füsse einzeln auf den Aerobic Stepper aufsetzen und anschliessend wieder auf den Boden zurücksetzen sollten. Im Anschluss an den achtminütigen Step Test durften sich die Probanden erneut während zwei Minuten weder bewegen noch sprechen. Nach erfolgreicher Kalibration konnten die Messungen starten.

2.2.1. Spielteil. Die Messung im Spielteil erfolgte während der ersten fünf Runden in der regulären Meisterschaft. Im Spielbetrieb der Alterskategorie U18-A spielen die Unihockeyspieler auf einem 40 m langen und 20 m breiten Spielfeld. Auf dem Spielfeld dürfen sich maximal sechs Spieler gleichzeitig aufhalten, wobei höchstens ein Torhüter aufzustellen ist. Die Spielzeit besteht aus drei Spielabschnitten à 20 Minuten (Swiss Unihockey, 2018). Sie wird effektiv gemessen, d. h., bei Spielunterbrüchen wird die Zeit angehalten. Zwischen den Spielabschnitten gibt es eine zehnminütige Pause. Die Spieler befinden sich durchschnittlich 45 Sekunden auf dem Spielfeld und werden dann ausgewechselt.

Bei jedem Probanden wurde die Spielaktivität während eines Spielabschnitts aufgezeichnet. Für die Datenauswertung wurde die Zeitspanne zwischen der dritten und achtzehnten Minute pro Drittel verwendet. Aufgrund der Wechselaktivität haben normalerweise erst nach drei Minuten alle Spieler einen Einsatz absolviert. Daher wurde bei den Messungen auf die ersten drei Minuten verzichtet. Weiter waren die letzten zwei Minuten der Messungen für die Auswertung nicht relevant, da sich die Probanden möglicherweise bereits mit dem Spielabschnittsende befassten, was das Messverfahren beeinflusst hätte.

2.2.2 Technikteil. Die Messungen im Technikteil fanden vor den offiziellen Trainings statt. Den Probanden wurden vorgängig der definierte Parcours (Abbildung 1) und die enthaltenen

Stationen (Tabelle 3) erläutert (Mobilesport, 2013). Vor der Messung gab es keinen Probegang. Die Probanden durchliefen innerhalb von fünf Minuten den definierten Parcours mit möglichst hoher Geschwindigkeit. Da sie den Parcours nicht kannten, war der Rhythmus in den ersten zwei Minuten sehr unterschiedlich. Daher wurde für die Datenauswertung die Zeitspanne zwischen der zweiten und vierten Minute verwendet.



Legende:

- | | |
|------------------------|--------------|
| o x Spieler | - - - ➔ Pass |
| o • x Spieler mit Ball | == ➔ Schuss |
| ➔ Laufweg | Δ Markierung |

Abbildung 1. Unihockeyparcours von Mobilesport (2013).

Tabelle 3

Beschreibung der Stationen im Unihockeyparcours nach Mobilesport (2013)

Stationsnummer	Beschreibung
1	Slalomdribbling (wichtig: unregelmässige Abstände, zwei Hütchen sollen mit einer ganzen Umdrehung passiert werden).
2	Bandenpass (wird auf Volleyball-Seitenlinie abgegeben): soll zwischen die Markierungen gespielt werden.
3	Lauf zum Ball.
4	Karussell: Je ein Ball von jeder Seite auf das Tor schiessen. Aus der Drehung nach der Markierung auf das Tor schiessen (gezogener Schuss).
5	Dribbling um liegende Malstäbe (nur der Ball zwischen den Malstäben hindurch).
6	Ball im Lauf über am Boden liegende Malstäbe heben.
7	Zielpass zwischen die Markierung (muss vor dem Hütchen abgegeben werden).

2.3 Untersuchungsinstrumente

2.3.1 Sportuhren. Bei den Sportuhren handelte es sich um die Modelle Garmin fēnix 5 und Polar M430. Die Herzfrequenz wurde bei beiden Sportuhren direkt am Handgelenk gemessen. Die optische Herzfrequenzmessung erfolgt bei beiden Sportuhren mittels Leuchtdioden (LED) auf der Rückseite. Dabei senden die LEDs ein helles Licht durch die Haut und erhalten ein reflektierendes Licht zurück. Bei einer körperlichen Aktivität wird der Blutfluss in den Venen erhöht und das reflektierende Licht wird kleiner. Anhand dieses Vorgangs kann die Herzfrequenz optisch ermittelt werden (Polar, 2017).

Tabelle 4 und 5 zeigen die wichtigsten Eigenschaften der Sportuhren, welche dem Benutzerhandbuch (Garmin, 2017) respektive der Gebrauchsanweisung (Polar, 2017) entnommen wurden.

Tabelle 4

Eigenschaften der Sportuhr Garmin fēnix 5

Eigenschaft	Beschreibung
Energieschätzung mittels	Alter, Grösse, Geschlecht, Gewicht, HF_{\max} , HF_{Bereiche} , HF
Preis [CHF]	≈ 659
Gewicht [g]	85
Betriebstemperaturbereich [°C]	−20 bis +50
Betriebsdauer mit GPS [h]	24
GPS-Empfänger	Ja (integriert)
Batterietyp	Wieder aufladbar, integrierter Lithium-Ionen-Akku

Anmerkungen. Altersangabe in Jahren; Grössenangaben in cm; Gewichtsangabe in kg; HF_{\max} = Der Prozentsatz der maximalen Herzfrequenz; HF_{Bereiche} = aktueller Herzfrequenz-Bereich (1 bis 5) – die Standard-Herzfrequenz-Bereiche beruhen auf dem Benutzerprofil und der maximalen Herzfrequenz (220 minus Alter); HF = Herzfrequenz in Schlägen pro Minute; Preis: Vorgabe des Herstellers.

Tabelle 5

Eigenschaften der Sportuhr Polar M430

Eigenschaft	Beschreibung
Energieschätzung mittels	Alter, Grösse, Geschlecht, Gewicht, HF_{\max} , HF_{Bereiche} , HF, $VO_{2\max}$,
Preis [CHF]	≈ 250
Gewicht [g]	51
Betriebstemperaturbereich [°C]	−10 bis +50
Betriebsdauer mit GPS [h]	8
GPS-Empfänger	Ja (integriert)
Batterietyp	Wieder aufladbar, integrierter Lithium-Polymer-Akku

Anmerkungen. Altersangabe in Jahren; Grössenangaben in cm; Gewichtsangabe in kg; HF_{\max} = Der Prozentsatz der maximalen Herzfrequenz; HF_{Bereiche} = aktueller Herzfrequenz-Bereich; HF = Herzfrequenz in Schlägen pro Minute. Preis; $VO_{2\max}$ = maximale Sauerstoffaufnahme [ml/kg/min]; Preis: Vorgabe des Herstellers.

2.3.2 Referenzgerät. Als Referenzgerät wurde das Actiheart-Messsystem verwendet, welches aus vier Teilen besteht: dem Actiheart-Messgerät, den Elektroden, dem Lese- und Ladegerät und der Computersoftware. Das Actiheart-Messgerät ist sehr leicht, wasserdicht und wurde mittels Druckknopfverfahren an zwei Standard-EKG-Elektroden auf der Brust der Probanden befestigt (The Actiheart User Manual, 2018). Es erfasste neben der Herzfrequenz auch die Bewegungsaktivität der Probanden und zeichnete die Messdaten synchron auf. Die Bewegungsaktivität wurde mit dem integrierten Beschleunigungsmesser erhoben. Bei beiden Tragorten musste der Sensor auf horizontaler Ebene positioniert werden, da der Beschleunigungsmesser vertikale Bewegungen aufnimmt (The Actiheart User Manual, 2018). Sowohl die Bewegungsaktivität wie auch die Herzfrequenz sind wichtige Parameter für die Energieverbrauchsberechnung. Gemäss den Publikationen ist die vorausgesetzte Reliabilität und Validität des Geräts gewährleistet bzw. dieses wissenschaftlich auf Zuverlässigkeit und Gültigkeit getestet (Brage, Brage, Franks, Ekelund & Wareham, 2005; Barreira, Kang, Caputo, Farley & Renfrow, 2009).

2.3.3 Stadiometer und Waage. Zur Messung der Grösse und des Gewichts der Probanden wurden das Stadiometer seca 213 (Seca GmbH, Hamburg, Deutschland) bzw. die Flachwaage seca 861 (Seca GmbH, Hamburg, Deutschland) genutzt, welche den Vorgaben für Medizinprodukte (93/42/EWG) entsprechen. Um die genaue Grösse zu ermitteln, erhielten die Probanden vor der Messung die Anweisung, die Sportschuhe auszuziehen. Sie standen auf dem Fussteil und berührten mit dem Rücken die Messstange. Das verschiebbare Kopfteil zeigte auf dem Scheitel der Probanden die effektive Körpergrösse an. Bei der Messung des Körpergewichts trugen sie Unterwäsche, kurze Hosen und ein kurzärmliges Leibchen.

2.4 Datenauswertung

Die aufgezeichneten Messdaten des Referenzgeräts wurden mit der Actiheart-Software auf einem Laptop erfasst und anschliessend in ein Excel-Dokument (Microsoft Office, Redmond WA, Vereinigte Staaten von Amerika) exportiert. Die Daten der Sportuhren Garmin fenix 5 und Polar M430 wurden mit den firmeneigenen Softwares Garmin Connect (Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika) und Polar Flow (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland) heruntergeladen und ebenfalls in ein Excel-Dokument exportiert. Darauf wurden die Daten der Sportuhren und des Referenzgeräts in die relative Einheit kcal/min umgerechnet und synchronisiert.

Für die Datenauswertung wurde das Statistikprogramm SPSS Statistics 25 (IBM Corporation, Armonk NY, Vereinigte Staaten von Amerika) verwendet. Die erhaltenen Energieverbrauchsdaten aller Geräte werden mit einem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Mittels deskriptiver Statistik wurden die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen der Daten der Messgeräte berechnet. Mit einem ANOVA-Test wurde ermittelt, ob es signifikante Unterschiede zwischen der jeweiligen Sportuhr und dem Referenzgerät gab. Das Signifikanzniveau lag bei 0.05. Weiter wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman ermittelt, indem die Messdaten der Sportuhren jeweils mit dem Referenzgerät verglichen wurden. Die erhobenen Daten des Energieverbrauchs der Sportuhren verglichen mit dem Referenzgerät wurden in Bland-Altman-Plots (Bland & Altman, 1986) grafisch dargestellt.

3 Resultate

Die erhobenen Daten waren alle normalverteilt. Die Berechnungen zur Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test sind in Anhang D dokumentiert. Den Zusammenhang des gemessenen Energieverbrauchs zwischen den Sportuhren und dem Referenzgerät zeigt Tabelle 6. Die Korrelationsanalyse ermittelte sowohl bei der Garmin fēnix 5 wie auch bei der Polar M430 einen schwachen bis mässigen Zusammenhang mit dem Referenzgerät. Der Korrelationskoeffizient zum Referenzgerät fiel bei der Garmin fēnix 5 leicht höher aus als bei der Polar M430.

Tabelle 6

Rangkorrelation nach Spearman r_s über beide Aktivitäten zwischen den Sportuhren und dem Referenzgerät

Gerät	Korrelation r_s	Signifikanz p (zweiseitig)
Referenz (Actiheart)	1.000	
Garmin fēnix 5	0.389	< 0.013
Polar M430	0.331	< 0.037

Anmerkung. Die Korrelation ist auf dem Niveau $p < 0.05$ signifikant (zweiseitig).

Die Mittelwertvergleiche zwischen den Sportuhren und dem Referenzgerät für den Spiel- und Technikteil sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7

Mittelwertvergleiche des relativen Kalorienverbrauchs [kcal/min] im Spiel- und Technikteil der Sportuhren und des Referenzgeräts

Aktivitäten	n	Garmin	Polar	Actiheart	Garmin-Referenz	Polar-Referenz	Garmin - Referenz	Polar - Referenz
		[kcal/min]	[kcal/min]	[kcal/min]	[kcal/min]	[kcal/min]	[%]	[%]
Spielteil	20	10.81 ± 1.67	12.41 ± 1.50***	11.38 ± 0.99	-0.57	1.03	-5.01	9.05
Technikteil	20	10.05 ± 1.57**	10.50 ± 1.57**	11.96 ± 1.97	-1.91	-1.46	-15.97	-12.21

Anmerkungen. Alle Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben. Signifikanter Unterschied zum Referenzgerät: ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Die Bland-Altman-Plots (Bland & Altman, 1986) in den Abbildungen 2, 3, 4 und 5 zeigen den Kalorienverbrauch zwischen der jeweiligen Sportuhr und dem Referenzgerät bei den verschiedenen Aktivitäten.

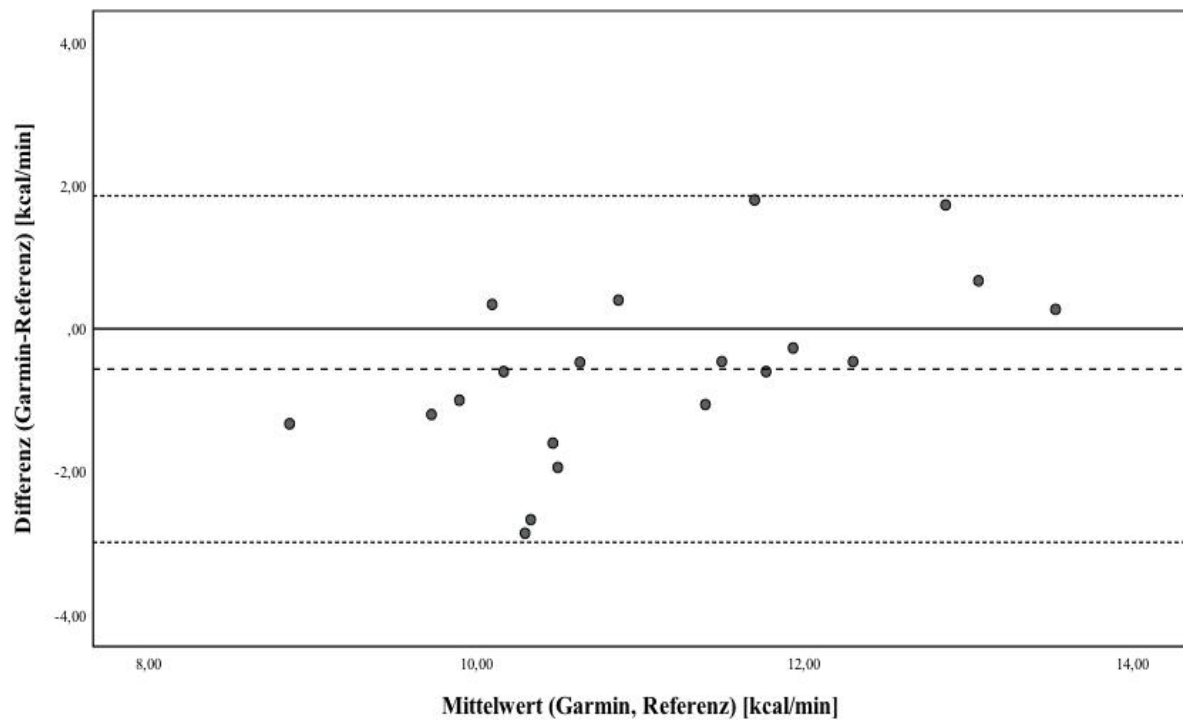


Abbildung 2. Bland-Altman-Plot der Sportuhr Garmin fenix 5 und des Referenzgeräts Actiheart für den Spielteil. Die dick gestrichelte Linie entspricht dem Mittelwert und die dünn gestrichelten Linien $\pm 1.96 \cdot$ der Standardabweichung. Die durchgezogene Linie entspricht der Nulllinie.

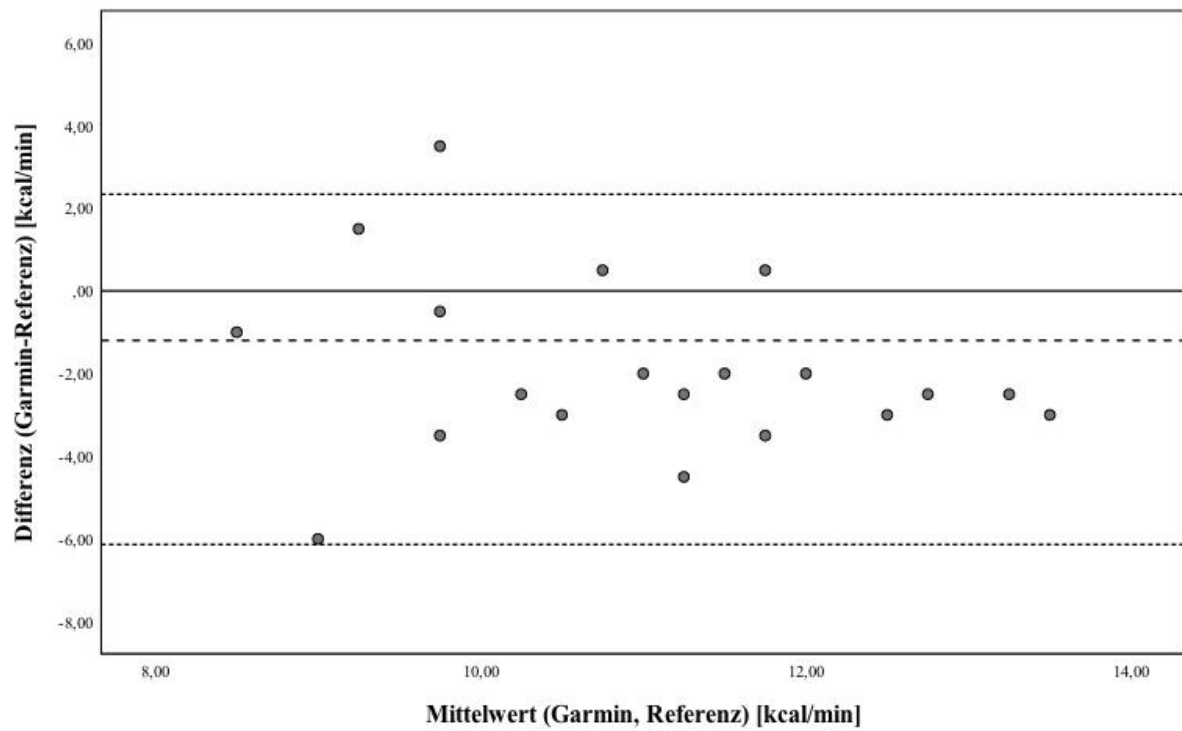


Abbildung 3. Bland-Altman-Plot der Sportuhr Garmin fēnix 5 und des Referenzgeräts Actiheart für den Technikteil. Die dick gestrichelte Linie entspricht dem Mittelwert und die dünn gestrichelten Linien $\pm 1.96 \cdot$ der Standardabweichung. Die durchgezogene Linie entspricht der Nulllinie.

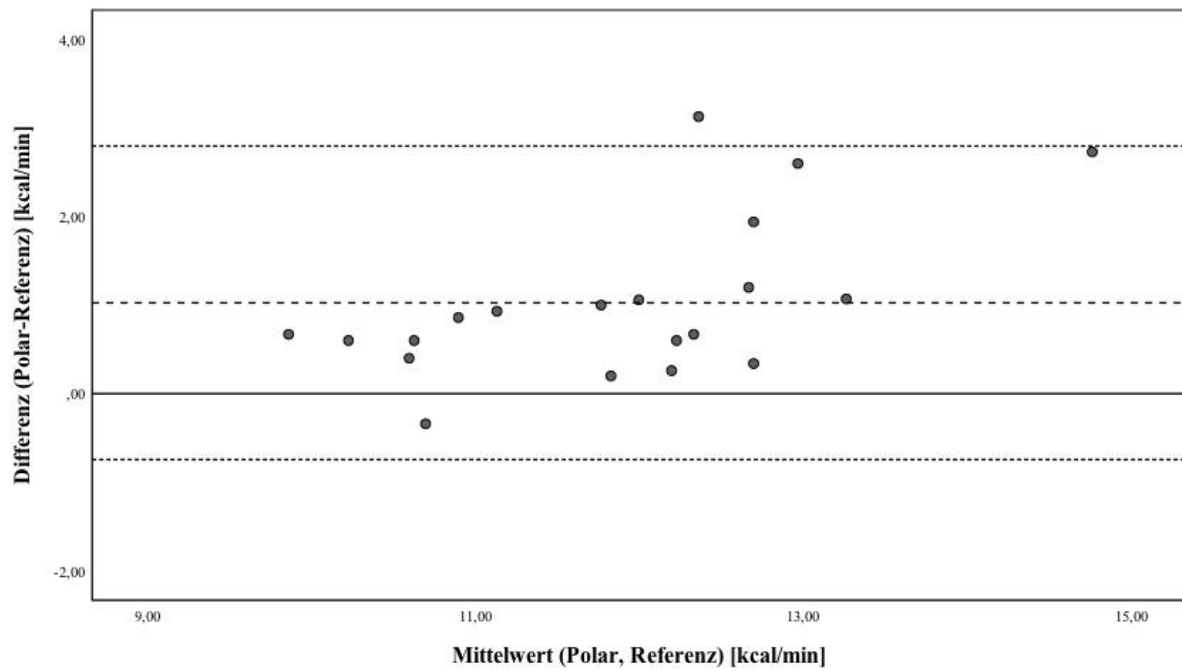


Abbildung 4. Bland-Altman-Plot der Sportuhr Polar M430 und des Referenzgeräts Actiheart für den Spielteil. Die dick gestrichelte Linie entspricht dem Mittelwert und die dünn gestrichelten Linien $\pm 1.96 \cdot$ der Standardabweichung. Die durchgezogene Linie entspricht der Nulllinie.

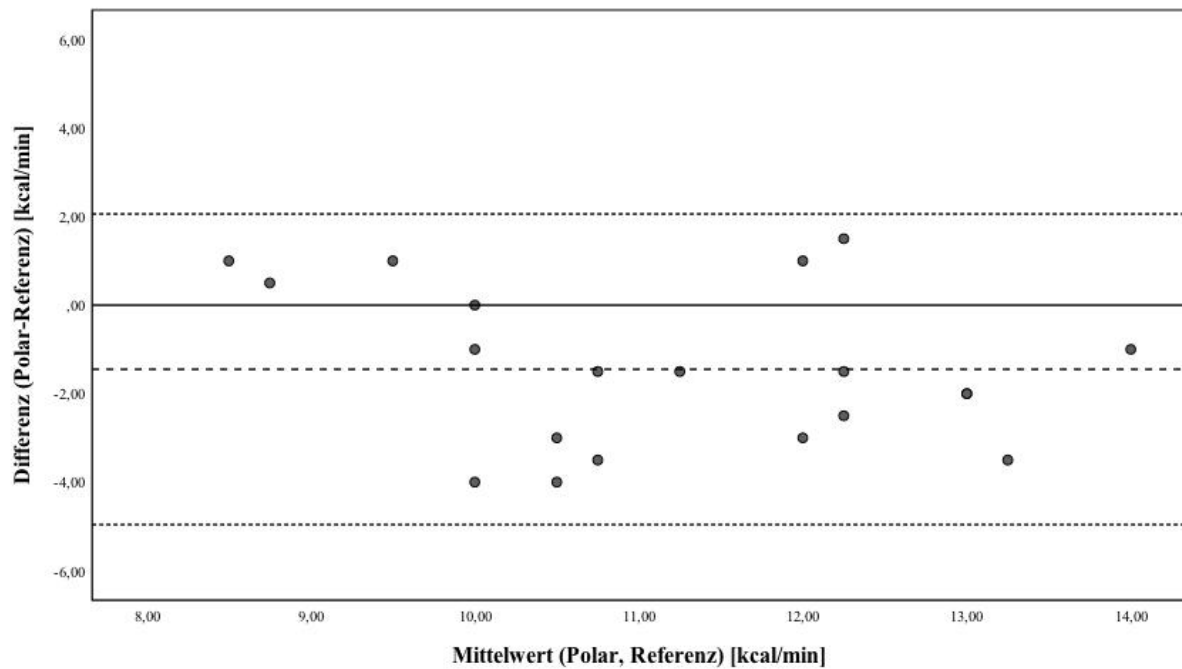


Abbildung 5. Bland-Altman-Plot der Sportuhr Polar M430 und des Referenzgeräts Actiheart für den Technikteil. Die dick gestrichelte Linie entspricht dem Mittelwert und die dünn gestrichelten Linien $\pm 1.96 \cdot$ der Standardabweichung. Die durchgezogene Linie entspricht der Nulllinie.

4 Diskussion

Die Resultate zeigten sowohl bei der Garmin fēnix 5 wie auch bei der Polar M430 bei beiden Aktivitäten eine Unterschätzung des Energieverbrauchs, mit Ausnahme der Polar M430 im Spielteil, welche den Energieverbrauch leicht überschätzte.

In einem ersten Analyseschritt wurde der Zusammenhang der erhobenen Energieverbrauchswerte von beiden Sportuhren aus dem Spiel- und Technikteil mit dem Referenzgerät überprüft. Die Korrelationsanalyse nach Spearman berechnete bei der Garmin fēnix 5 ($r_s = 389$) einen leicht höheren Zusammenhang als bei der Polar M430 ($r_s = 331$). Daraus resultierte für die Garmin fēnix 5 und die Polar M430 ein schwacher bis mässiger Zusammenhang zum Referenzgerät. Daraus könnte geschlussfolgert werden, dass die beiden Sportuhren für die Energieverbrauchsberechnung im Unihockey weniger geeignet sind. In einem zweiten Analyseschritt wurden die Mittelwerte der Sportuhren mit dem Referenzgerät im Spiel- und Technikteil miteinander verglichen. Die Mittelwertvergleiche lieferten unterschiedliche Ergebnisse. Im Spielteil zeigten die Resultate der Garmin fēnix 5 mit -5.01% (-0.57 kcal/min, $p = 0.055$) keinen signifikanten Unterschied gegenüber dem Referenzgerät. Demnach scheint es, dass die Garmin fēnix 5 den Energieverbrauch minimal unterschätzte, aber sehr präzise mass. Auf dem Bland-Altman-Plot (Abbildung 2) ist die leichte Unterschätzung ebenfalls grafisch zu erkennen. Im Gegensatz dazu zeigte die Polar M430 im Spielteil eine signifikante Diskrepanz von 9.05% (1.03 kcal/min, $p = 0.000$). Dies zeigte, dass die Polar M430 den Energieverbrauch überschätzte. Im Bland-Altman-Plot (Abbildung 4) ist die Überschätzung der Polar M430 im Spielteil grafisch dargestellt.

Im Technikteil resultierten sowohl bei der Garmin fēnix 5 wie auch bei der Polar M430 signifikante Unterschiede im Vergleich zum Referenzgerät. Die Mittelwertdifferenz zwischen der Garmin fēnix 5 und dem Referenzgerät unterschied sich mit -15.97% (-1.91 kcal/min, $p = 0.001$) signifikant. Folglich unterschätzte die Garmin fēnix 5 den Energieverbrauch im Technikteil klar (Abbildung 3). Die Polar M430 wies eine signifikante Differenz von -12.21% (-1.46 kcal/min, $p = 0.002$) auf. Die Unterschätzung ist auf dem Bland-Altman-Plot (Abbildung 5) grafisch erkennbar.

Im Gegensatz zum Spielteil sind beim Technikteil die meiste Zeit beide Hände am Schläger. Dadurch können die Probanden den Ball sicher führen und bei allen Stationen kontrollieren. Im Spielteil halten sie den Schläger mehrheitlich mit einer Hand. Lediglich in Ballbesitz bewegen sich die Unihockeyspieler mit beiden Händen am Schläger fort. Das einhändige Halten

des Schlägers im Spiel ermöglicht eine natürlichere Fortbewegung und schränkt in den multidirektionalen Laufbewegungen weniger ein. Die signifikante Abweichung im Technikteil lässt vermuten, dass die kontinuierliche zweihändige Ballführung einen Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Während im Spielteil die Armbewegung mehrheitlich natürlich verläuft, wird dort durch die beidhändige Schlägerhaltung die Armbewegung eingeschränkt. Dadurch kann der Beschleunigungsmesser in Kombination mit der Herzfrequenzmessung nicht die gleichen Daten aufzeichnen.

4.1 Erkenntnisse verglichen mit anderen Publikationen

Die Studie von Gilgen-Ammann et al. (2018) untersuchte die Messgenauigkeit des Fitness-Trackers Mio FUSE (Mio Global Inc., Vancouver, Kanada) im Vergleich mit dem Referenzgerät Polar H7 (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland). Der Mio FUSE ermittelt den Energieverbrauch anhand der Herzfrequenz, welche direkt am Handgelenk gemessen wird. Das Referenzgerät misst die Herzfrequenz mittels Brustgurt. Die Messungen fanden in unterschiedlichen Aktivitäten statt. Die antizyklische Aktivitätsklasse beinhaltete unter anderem die Sportarten Fussball und Squash. Die Resultate in der antizyklischen Aktivitätsklasse zeigten eine signifikante Unterschätzung der Herzfrequenz. Ein negativer Einfluss auf die Messgenauigkeit hatten insbesondere die verstärkten Arm- und Handgelenkbewegungen (Gilgen-Ammann et al., 2018).

In einer anderen Studie wurde der Energieverbrauch von drei kommerziellen Sportuhren unter Laborbedingungen untersucht und mit der indirekten Kalorimetrie als Referenzmethode verglichen (Roos, Taube, Beeler & Wyss, 2017). Bei den Sportuhren handelte es sich um die Garmin Forerunner920XT (Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika), Polar V800 (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland) und Suunto Ambit 2 (Suunto, Vantaa, Finnland). Die Probanden absolvierten bei fünf verschiedenen Intensitätsstufen einen Lauftest. Bei dieser Studie resultierten im Vergleich zu dieser Arbeit sowohl bei leichten bis moderaten Intensitäten wie auch bei hohen Intensitäten höhere Korrelationskoeffizienten ($r = 0.63-0.85$, $r = 0.72-0.82$) (Roos, Taube, Beeler & Wyss, 2017).

Die moderate und die zweithöchste Intensitätsstufe (70 % und 90 % des $VO_2\text{peak}$ = höchste Sauerstoffaufnahme unter erzielter maximaler Belastung) lassen sich mit der Aktivität im Spiel- und Technikteil vergleichen. Lediglich im Spielteil überschätzte die Polar M430 den Energieverbrauch signifikant. Ansonsten resultierte wie auch in dieser Studie eine signifikante Unterschätzung des Energieverbrauchs bei moderaten und erhöhten Intensitätsstufen, mit Ausnahme der Garmin fenix 5 im Spielteil. Im Vergleich zum Test auf dem Laufband absol-

vierten die Unihockeyspieler Laufwege und Intensitäten dem Spiel angepasst. Zudem sind im Gegensatz zum Rennen auf dem Laufband keine zyklischen Bewegungen, sondern ständige multidirektionale Richtungswechsel die Realität. Die intermittierende Form ermöglicht den Unihockeyspielern, in unregelmässigen Abständen zu pausieren. Durch die Benützung eines Schlägers konnte keine zyklische Armbewegung, wie sonst beim Rennen ersichtlich, vollzogen werden. Daher lassen sich die Resultate nur bedingt vergleichen.

Eine mit Unihockey verwandte Sportart ist Landhockey. Zwar unterscheiden sich die Anzahl Spieler und die Spielfeldgrössen, jedoch verfolgen beide Sportarten sehr ähnliche Spielprinzipien. Die Studie von Konarski und Strzelcyk (2009) stellte fest, dass sich die Landhockeyspieler während eines Spiels in den Aktivitäten Laufen (46.5 %), Joggen (40.5 %), Stehen (7.4 %) und Sprinten (1.5 %) befinden. Die durchschnittliche Herzfrequenz lag bei 131 Schlägen pro Minute. Demnach liegt der Fokus bei den physischen Anforderungen auf der aeroben Ausdauer, Schnelligkeit und der Kraftausdauer (Konarski & Strzelcyk, 2009).

Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine Studie mit vier verschiedenen GPS-Sportuhren, welche den Energieverbrauch bei drei Geschwindigkeiten (3 km/h, 5 km/h und 7 km/h) während der Aktivität Rennen ermittelten. Als Referenzmethode diente ein triaxialer Beschleunigungsmesser (Hongu, Orr, Roe, Reed & Going, 2013). Bei allen Sportuhren resultierte eine signifikante und konstante Unterschätzung des Energieverbrauchs. Die Garmin Forerunner 305 (Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika) unterschätzte diesen durchschnittlich um -54 %. Bei der Polar RS800 G3 (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland) lag die Mittelwertdifferenz bei -49 % (Hongu et al., 2013). Die Studienresultate sind daher mit Vorsicht zu geniessen, da eine Fehlinterpretation einen hohen Einfluss auf den weiteren Trainings- und Regenerationsverlauf haben kann. Im Vergleich zu den Erhebungen in dieser Arbeit wurde die vorhandene GPS-Funktion bei beiden Sportuhren vorgängig deaktiviert. Die Erhebungen im Spiel- und Technikteil fanden jeweils in einer Sporthalle statt. Aufgrund des schlechten Empfangs wäre der Einsatz von GPS nicht sinnvoll gewesen. Dies erklärt möglicherweise die grössere Unterschätzung des Energieverbrauchs in dieser Arbeit.

In einer anderen Studie wurde die Energieverbrauchsberechnung der Sportuhr Garmin fenix 3 (Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika) mit der Referenzmethode indirekter Kalorimetrie im Militärsetting verglichen (Bättig, 2017). Die Rekruten der Schweizer Armee absolvierten verschiedene physische Alltags- sowie spezifische Militäraktivitäten. Die einzige vergleichbare Aktivität war die des Rennens. Die Probanden rannten mit Laufschuhen auf einer flachen Strecke in einem Tempo, welches sie 60 Minuten durchhalten

konnten. Obwohl sie keine multidirektionalen Richtungswechsel beinhaltete, war die Aktivität Rennen am ehesten mit den Aktivitäten in dieser Arbeit vergleichbar.

Die Garmin fēnix 3 zeigte in der Aktivität Rennen eine signifikante Abweichung von -8.07% (Bättig, 2017). Dies lässt vermuten, dass die Modelle von Garmin den Energieverbrauch konstant unterschätzen. Im Gegensatz zur fēnix 5 mass die fēnix 3 die Herzfrequenz mittels Brustgurt und nicht direkt am Handgelenk. Gemäss Parak und Korhonen (2014) erzielte bei Fitness-Tracker die Herzfrequenzmessung mit einem Brustgurt die genaueren Resultate als die Sensoren am Handgelenk.

Die Erkenntnisse aus dem Vergleich mit anderen Publikationen lassen vermuten, dass die Sportuhren den Energieverbrauch in den meisten Sportarten tendenziell unterschätzen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen vor allem im Spielteil eine akzeptable Abweichung von weniger als 10% (Lee et al., 2014). Es fehlen jedoch weiterhin Erkenntnisse aus Studien, welche den Energieverbrauch in Sportarten mit einem Schläger messen.

4.2 Stärken und Schwächen der Studie

Die Datenerhebung für diese Studie erfolgte an unterschiedlichen Wochentagen und Uhrzeiten innerhalb von fünf Wochen. Sie wurde lediglich durch mich durchgeführt. Dies führte dazu, dass die Erhebungen immer gleich abliefen und die Probanden identisch auf die Messungen vorbereitet wurden. Der Technikparcours wurde korrekt nach Vorgabe aufgebaut und die Probanden erhielten dadurch die gleichen Instruktionen. Ein Nachteil bei alleiniger Durchführung und Kontrolle der Erhebungen könnte das Fehlen eines weiteren Kontrollorgans sein. Zudem könnten die Vor- und Nachbereitungen speditiver vorangetrieben werden. Diese Umstände waren vermutlich nicht beeinflussend, sollten jedoch erwähnt sein.

Die Messungen erfolgten sowohl im Spiel- wie auch im Technikteil in unterschiedlichen Sporthallen. Im Unihockeyspiel gibt es diverse nicht beeinflussbare äussere Faktoren. Die Beschaffenheit des Hallenbodens kann das Rollverhalten des Balles beeinflussen. Die Helligkeit- und Lichteinwirkungen werden von Spielerinnen und Spielern unterschiedlich wahrgenommen. Weiter haben die Spielweise, das Niveau und die aktuelle Tabellensituation des Gegners einen wichtigen Einfluss auf die Leistung. Die Motivation und dadurch auch die Nervosität waren im Spiel gegen starke gegnerische Mannschaften tendenziell höher als bei Mannschaften aus der unteren Tabellenregion. Insbesondere bei Spielen gegen Kantonsrivalen war eine höhere körperliche Aktivierung bemerkbar.

Die Probanden spielten mehrheitlich seit mehreren Jahren zusammen in der gleichen Mannschaft beim HC Rychenberg Winterthur. Zudem absolvierten sie die gleiche physische und

mentale Saisonvorbereitung in den Monaten Mai bis August 2018. Dadurch befanden sich alle Athleten auf einem ähnlichen physischen Level.

Vor und nach dem achtminütigen Step Test erhielten sie die Instruktion, sich zwei Minuten nicht zu bewegen und nicht zu sprechen. Die Mehrheit der Probanden hielt sich an die gegebene Instruktion und trug zu einer speditiven Vorbereitungsphase bei. Es gab jedoch einige, welche unbewusst und aus Neugier einen Satz begannen. Ich intervenierte zwar sofort, aber es kam vor, dass der jeweilige Proband ein bis zwei Wörter sprach. Womöglich könnte das Sprechen die Kalibrierung des Referenzgerätes leicht beeinflusst haben, jedoch waren die Kalibrationsdaten bei der Analyse immer genügend. Ein Vorteil bei den Messungen war, dass die Probanden nicht an Schnupfen oder Husten litten, welches einen Einfluss auf die Atemwege und das Stillstehen gehabt hätte. Weiter trug der hohe Tragekomfort der Sportuhren und des Referenzgeräts dazu bei, dass die Probanden durch die Messsysteme nicht eingeschränkt waren. Die Mehrheit gab die Rückmeldung, die Sportuhren am Handgelenk und das Referenzgerät auf der Brust während der Erhebungen nicht bemerkt zu haben.

4.3 Weiterführende Fragestellungen

Der Fokus dieser Untersuchung lag auf der Validierung des Energieverbrauchs zweier kommerzieller Sportuhren im Vergleich zum Referenzgerät in der Sportart Unihockey. Die Ergebnisse beziehen sich auf die Alters- und Niveaustufe U18-A. Da die Probanden einer relativ schmalen Alters- und Niveaustufe angehörten, ist die Repräsentativität der Untersuchung begrenzt. Daher wären weitere Untersuchungen in der gleichen Altersgruppe und in anderen Niveaustufen notwendig, um allgemeinere respektive generalisierbare Erkenntnisse zu gewinnen. Interessant wären weitere Studien mit den Sportuhren bei Spielern aus der höchsten nationalen Liga (NLA). Weiter empfiehlt sich der Vergleich von Männern und Frauen im gleichen Alter und auf der gleichen Niveaustufe. Somit könnten die Resultate der männlichen und weiblichen Testpersonen gegenübergestellt und weitere Erkenntnisse über die Messgenauigkeit der Sportuhren gewonnen werden. Dafür müsste in weiteren Studien die Anzahl Testpersonen erhöht werden, um aussagekräftige Resultate zu erhalten.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde erstmals der Energieverbrauch mittels kommerzieller Sportuhren in einer Sportart untersucht, welche einen Schläger zur Ausübung benötigt. Bislang wurden Studien nur im Laufen, Joggen oder Rennen durchgeführt. Weiterführende Studien zu verwandten Sportarten mit einem Schläger wären denkbar. Im Eishockey und Landhockey könnten beispielsweise unter ähnlichen körperlichen Leistungen weitere und repräsentativere Daten gewonnen werden.

5 Schlussfolgerung

Die Zusammenhänge zwischen dem Referenzenergieverbrauch und dem gemessenen Energieverbrauch der Sportuhren korrelierten bei beiden Aktivitäten schwach bis mässig ($r = 0.331-0.389$). Im Spielteil berechnete die Garmin fēnix 5 eine nicht signifikante Differenz von -5.01% (-0.57 kcal/min). Die Polar M430 überschätzte den Energieverbrauch in der gleichen Aktivität mit 9.05% (1.03 kcal/min) signifikant. Im Technikteil konnte bei beiden Sportuhren eine signifikante Unterschätzung festgestellt werden. Dabei lieferte die Polar M430 (-12.21%) im Vergleich zu der Garmin fēnix 5 (-15.97%) das bessere Ergebnis.

Nach Lee et al. (2014) kann eine Abweichung von $\leq 10 \%$ als akzeptabel betrachtet werden. Im Spielteil lassen sich daher die Garmin fēnix 5 und die Polar M430 als valide einstufen. Aus den Mittelwertdifferenzen im Technikteil wurde ersichtlich, dass die Sportuhren den Energieverbrauch grundsätzlich signifikant unterschätzten. Aufgrund der Abweichungen von mehr als 10% können die Garmin fēnix 5 und die Polar M430 nicht als valide gelten.

Mit validen Sportuhren ist die Energieverbrauchsberechnung imstande, wichtige Erkenntnisse für die weiteren Planungsschritte nach Wettkämpfen und Trainings zu liefern. Dies kann allfälligem Übertraining entgegenwirken und mögliche Verletzungen frühzeitig erkennen und vermeiden. Weiter können anhand genauer Messdaten des Energieverbrauchs die richtigen Schritte bezüglich der Energieeinnahme vollzogen werden. Diese Erkenntnisse sind für Leistungssportler wie auch für Amateursportler von grosser Bedeutung.

Literaturverzeichnis

- Ainslie, P. N., Reilly, T. & Westerterp, K. (2003). Estimating Human Energy Expenditure. *Sports Medicine*, 33(9), 683-698.
- Barisic, A., Leatherdale, S. T. & Kreiger, N. (2011). Importance of frequency, intensity, time and type (FITT) in physical activity assessment for epidemiological research. *Canadian Journal of Public Health*, 102(3), 174-175.
- Barreira, T. V., Kang, M., Caputo, J. L., Farley, R. S. & Renfrow, S. (2009). Validation of the Actiheart monitor for the measurement of physical activity. *International Journal of Exercise Science*, 2(1), 7.
- Bättig, J. (2017). *Validierung der Energieverbrauch-Algorithmen von zwei körpertragbaren Sensoren im Militärsetting* (Unveröffentlichte Masterarbeit). Universität Freiburg, Schweiz.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 327, 307-310.
- Bouten, C. V., Westerterp, K. R., Verduin, M. & Janssen, J. D. (1994). Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(12), 1516-1523.
- Brage, S., Brage, N., Franks, P. W., Ekelund, U. & Wareham, N. J. (2005). Reliability and validity of the combined heart rate and movement sensor actiheart. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59(4), 561-570. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602118>
- Brandes, M., Pischke, C. R., Steenbock, B., Zeeb, H. & Pigeot, I. (2016). Fitness-Tracker - Zukunft für Prävention? In H. Rebscher & S. Kaufmann (Hrsg.), *Präventionsmanagement in Gesundheitssystemen* (S. 409-425). Heidelberg: medhochzwei.
- Bravata, D. M., Smith-Spangler, C., Sundaram, V., Gienger, A. L., Lin, N., Lewis, R., Sirad, J. R. (2007). Using pedometer to increase physical activity and improve health: a systematic review. *Journal of the American Medical Association*, 298(19), 2296-2304.
- Briggs, M. A., Cockburn, E., Rumbold, P. L. S., Rae, G., Stevenson, E. J. & Russell, M. (2015). Assessment of energy intake and energy expenditure of male adolescent academy-level soccer players during a competitive week. *Nutrients*, 7(10), 8392-8401.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E. & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness. Definitions and distinctions for health-related research. *Public Health*

- Reports*, 100(2), 126-131.
- Chen, K. Y. & Bassett, D. R. (2005). The technology of accelerometry-based activity monitors: Current and future. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 490-500.
- Corder, K., Brage, S. & Ekelund, U. (2007). Accelerometers and pedometers: methodology and clinical application. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 10(5), 597-603.
- Crouter, S. E., Schneider, P. L., Karabulut, M. & Bassett, D. R. (2003). Measuring steps, distance, and energy cost. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1455-1460.
- Garmin. (2017). Benutzerhandbuch fenix ® 5/5S. Zugriff unter <https://www8.garmin.com/-manuals/webhelp/fenix5plus/DE-DE/GUID-C8E25FD13499-4B5C-B45F-C4BF8828-32-84-homepage.html>
- Gesundheitsförderung Schweiz [Faktenblatt 18]. (2016). Bewegungsverhalten von Kindern und Jugendlichen in der Schweiz. Zugriff unter https://gesundheitsfoerderung.ch/assets/public/documents/de/5grundlagen/publikationen/ernaehrungbewegung/faktenblaetter/Faktenblatt_018_GFCH_201612_Bewegungsverhalten_von_Kindern_und_Jugendlichen_in_der_Schweiz.pdf
- Gilgen-Amman, R., Buller, M. J., Bitterle, J. L., Delves, S. K., Veenstra, B. J., Roos, L., Wyss, T. (2018). Evaluation of pulse rate measurement with a wrist worn device during different tasks and physical activity. *Current Issues in Sport Science*, 3, 1-9.
- Hegner, J. (2012). *Training fundiert erklärt*. Herzogenbuchsee:Ingold.
- Hendelman, D., Miller, K., Baggett, C., Debold, E. & Freedson, P. (2000). Validity of accelerometry for the assesement of moderate intensity physical activity in the field. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(9), 442-449.
- Hepa. (2013). Gesundheitswirksame Bewegung. Grundlagendokument. Zugriff unter <http://www.hepa.ch/de/bewegungsempfehlungen.html>
- Hongu, N., Orr, B. J., Roe, D. J., Reed, R. G. & Going, S. B. (2003). Global positioning system watches for estimating energy expenditure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(11), 3216-3220.
- Janz, K. F. (2002). Heart rate monitors to assess physical activity. In G. J. Welk (Hrsg.), *Physical activity assesement for health-related research* (S. 143-162). Champaign: Human Kinetics.
- Jeukendrup, A. & Van Diemen, A. (1998). Heart rate monitoring during training and

- competition in cyclists. *Journal of Sports Science*, 16, 91-99.
- Knechtle, B. (2002). *Aktuelle Sportphysiologie. Leistung und Ernährung im Sport*. Basel, Schweiz: S. Karger AG.
- Konarski, J., Matuszynski, M. & Strzelcyk, R. (2006). Different team defense tactics and heart rate during a field hockey match. *Studies in Physical Culture and Tourism*, 13, 145-147.
- Konarski, J. & Strzelcyk, R. (2009). Characteristics of differences in energy expenditure and heart rate during indoor and outdoor field hockey matches. *Studies in Physical Culture and Tourism*, 16(2).
- Kooiman, T. J. M., Dontje, M. L., Sprenger, S. R., Krijnen, W. P., van der Schans, C. P. & de Groot, M. (2015). Reliability and validity of ten consumer activity trackers. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 7(1), 24.
- Lamprecht, M., Fischer, A., Wiegand, D. & Stamm, H. P. (2014). Sport in Winterthur. Zugriff unter https://www.sportobs.ch/fileadmin/sportobs-dateien/Download/SportSchweiz-2014_Winterthur.pdf
- LaPorte, R. E., Montoye, H. J. & Caspersen, C. J. (1985). Assessment of physical activity in epidemiologic research: problems and prospects. *Public Health Reports*, 100(2), 131-146.
- Lee, J. M., Kim, Y. & Welk, G. J. (2014). Validity of consumer-based physical activity monitors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(9), 1840-1848.
- Li, R. T., Deurenberg, P. & Hautvast, J. G. (1993). A critical evaluation of heart rate monitoring to assess energy expenditure in individuals. *American Journal of Clinical Nutrition*, 58(5), 602-607.
- Li, R. T., Kling, S. R., Salata, M. J., Cupp, S. A., Sheehan, J. & Voos, J. E. (2006). Wearable performance devices in sports medicine. *Sports health*, 8(1), 74-78.
- Livingstone, M. B. E., Robson, P. J., Wallace, J. M. W. & McKinley, M. C. (2003). How active are we? Levels of routine physical activity in children and adults. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(3), 681-701.
- Luke, A., Maki, K. C., Barkey, N., Cooper, R. & McGee, D. (1997). Simultaneous monitoring of heart rate and motion to assess energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(1), 144-148.
- Marées, H. D. (2003). *Sportphysiologie* (Korrigierter Nachdruck der 9., vollst. überarb. und erweit. Aufl.) Köln: Sport und Buch Strauss.
- Masse, L. C., Fuemmeler, B. F., Anderson, C. B., Matthews, C. E., Trost, S. G., Catellier, D.

- J. & Treuth, M. (2005). Accelerometer data reduction: a comparison of four reduction algorithms on select outcome variables. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 544-554.
- Mattli, R., Hess, S., Maurer, M., Eichler, K., Pletscher, M. & Wieser, S. (2014). Kosten der körperlichen Inaktivität in der Schweiz [Schlussbericht]. Zugriff unter https://www.zhaw.ch/storage/sml/institute-zentren/wig/upload/Schlussbericht_COI_inactivity.pdf
- Melanson, E. L., Freedson, P. S. & Blair, S. (1996). Physical activity assessment: a review of methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36(5), 385-396.
- Mobilesport. (2013). Unihockey spielend entdecken [Monatsthema]. Zugriff unter https://www.mobilesport.ch/assets/lbwpcdn/mobilesports/files/2013/12/12_13_Unihoc-key_d.pdf
- Montoye, H. J., Kemper, H. C. G., Sarris, W. H. M. & Washburn, R. A. (1996). *Measuring physical activity and energy expenditure*. Champaign: Human Kinetics.
- Montoye, H. J. (2000). Introduction: evaluation of some measurements of physical activity and energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9), 439-441.
- Polar. (2017). Gebrauchsanweisung Polar M430. Zugriff unter https://support.polar.com/e_manuals/M430/Polar_M430_user_manual_Deutsch/manual.pdf
- Parak, J. & Korhonen, I. (2014). *Evaluation of wearable consumer heart rate monitors based on photoplethysmography* (Conference Paper). Tampere University of Technology, Finland.
- Roos, L., Taube, W., Beeler, N. & Wyss, T. (2017). Validity of sports watches when estimating energy expenditure during running. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 9(1), 1-8.
- Swiss Unihockey. (2015). Strategiepapier swiss unihockey 2014-2018. Zugriff unter https://www.swissunihockey.ch/files/2614/2470/2650/150223/dbo_Strategie_2014-18_final_short.pdf
- Swiss Unihockey. (2018). Wettspielreglement 2018/19. Zugriff unter https://www.swissunihockey.ch/files/8415/2446/6338/WSR_1819_DE_full.pdf
- The Actiheart. (2018). The Actiheart USER MANUAL 5.0.6. Zugriff unter <https://www.camntech.com/images/products/Actiheart5/The%20Actiheart%20User%20Manual.pdf>
- Troiano, R. P. (2005). A timely meeting: objective measurement of physical activity.

- Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 487-489.
- Vanhees, L., Lefevre, J., Philippaerts, R., Martens, M., Huygens, W., Troosters, T. & Beunen, G. (2005). How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*, 12(2), 102-114.
- Westerterp, K. R. (2009). Assessment of physical activity: a critical appraisal. *European Journal of Applied Physiology*, 105(6), 823-828.
- World Health Organization. (2011). Global status report on noncommunicable diseases 2010. Zugriff unter http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44579/1/9789240686458_eng.pdf
- Wyss, T. & Maeder, U. (2011). Energy expenditure estimation during daily military routine with body-fixed sensors. *Military Medicine*, 176(5), 494-499.

Anhang

A Probandeninformation

Messung des Energieverbrauchs bei U18 Unihockeyspielern

Dieses Projekt wird im Rahmen der Masterarbeit von Nicolai Muff, Student Universität Fribourg, durchgeführt.

Lieber

Ich möchte dich anfragen, ob du an einer Studie zur Genauigkeit von Sportuhren teilnimmst. Im Folgenden wird dir das geplante Forschungsprojekt vorgestellt.

1. Ziel des Projekts

Das Forschungsprojekt untersucht, wie präzise mit zwei Sportuhren die körperliche Belastung bei Unihockeyspielern gemessen werden kann. Die Messgeräte werden bezüglich ihrer Messgenauigkeit für die Datenerhebung verglichen.

2. Auswahl

An der Studie teilnehmen können freiwillige Unihockeyspieler des HC Rychenberg Winterthur U18 Team.

3. Ablauf

Für die Studie werden 20 männliche U18 Unihockeyspieler untersucht, welche einen Spiel- und Technikteil ausführen. Während den Messungen werden zwei Sportuhren und ein Referenzgerät gleichzeitig getragen.

4. Nutzen

Die Resultate geben Auskunft über die körperliche Beanspruchung in einem Unihockeyspiel sowie die Messgenauigkeit der Sportuhren.

5. Rechte

Du entscheidest freiwillig, ob du an diesem Projekt teilnehmen willst oder nicht. Du musst diese Entscheidung nicht begründen.

6. Pflichten

Wenn du teilnimmst, bitte ich dich, bestimmte Anforderungen einzuhalten.

7. Risiken

Durch das Projekt bist du nur geringfügigen Risiken ausgesetzt.

8. Ergebnisse

Bei neuen Ergebnissen während des Projekts, die den Nutzen oder deine Sicherheit und somit deine Einwilligung zur Teilnahme beeinflussen können, wirst du informiert.

9. Vertraulichkeit von Daten und Proben

Ich verwende deine persönlichen Daten nur in strikt verschlüsselter Form.

10. Rücktritt

Du kannst jederzeit von der Studie zurücktreten und nicht mehr teilnehmen. Die bis dahin erhobenen Daten und Proben werden noch ausgewertet.

11. Kontaktperson

Du kannst jederzeit auf alle deine Fragen Auskunft erhalten.

Nicolai Muff
Unterhäslerstrasse 9
8312 Winterberg
079 548 16 38

B Einwilligungserklärung

Schriftliche Einwilligungserklärung zur Teilnahme an einem Studienprojekt

Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch.

Titel der Studie: Validierung der Energieverbrauchsrechnung der Sportuhren Garmin fenix 5 und Polar M430 bei männlichen U18-A Unihockeyspielern

Studienleiter: Nicolai Muff, Unterhäslerstrasse 9, 8312 Winterberg

Ort der Durchführung: Winterthur

Teilnehmer: _____

Geburtsdatum: _____

- Ich wurde vom Studienleiter mündlich und schriftlich über den Zweck, den Ablauf der Studie, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- Ich nehme am dieser Studie freiwillig teil und akzeptiere den Inhalt der zum oben genannten Studie abgegebenen schriftlichen Informationen. Ich hatte genügend Zeit, meine Entscheidung zu treffen.
- Ich weiss, dass meine gesundheitsbezogenen und persönlichen Daten nur in verschlüsselter Form zu Forschungszwecken für diese Studie weitergegeben werden können.
- Ich kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen von der Teilnahme zurücktreten.
- Ich bin mir bewusst, dass die in der Teilnehmerinformation genannten Pflichten einzuhalten sind. Im Interesse meiner Gesundheit kann mich der Studienleiter jederzeit ausschliessen.

Ort, Datum:

Unterschrift Teilnehmer:

Unterschrift Erziehungsberechtigter:

Unterschrift Studienleiter (Nicolai Muff):

C Actiheart Befestigung

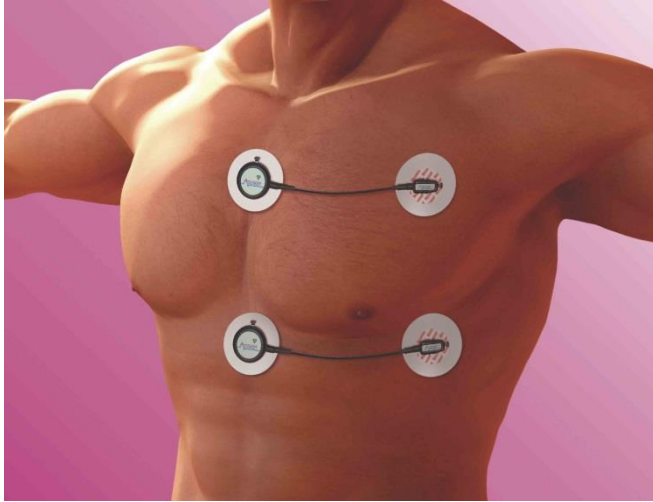


Abbildung 6. Befestigung Actiheart Messgerät und Elektroden

D Prüfung auf Normalverteilung

Tabelle 8

p-Werte der relativen Daten [kcal/min] der Probanden berechnet mit dem Shapiro-Wilk-Test und Fazit

Gerät Aktivität	<i>n</i>	<i>p</i> -Wert	Fazit
Actiheart Spielteil	20	0,958	normalverteilt
Garmin fēnix 5 Spielteil	20	0,370	normalverteilt
Polar M430 Spielteil	20	0,526	normalverteilt
Actiheart Technikteil	20	0,442	normalverteilt
Garmin fēnix 5 Technikteil	20	0,147	normalverteilt
Polar M430 Technikteil	20	0,523	normalverteilt

Anmerkung. *n* = Anzahl Probanden; Die Daten werden normalverteilt angenommen bei einem *p*-Wert von > 0.05.

Dank

Für das Gelingen und die Unterstützung bei meiner Masterarbeit möchte ich folgenden Personen und Institutionen danken:

- Meinen Betreuerinnen Lilian Roos und Regina Oeschger für die sehr angenehme Zusammenarbeit und die konstruktiven Feedbacks. Ich bin sehr dankbar, dass ich meine Masterarbeit zu diesem Thema mit eurer Hilfe und Ratschlägen schreiben durfte.
- Den U18-A Junioren für das riesige Engagement und die Geduld bei den Messungen. Ihr habt mit eurem tadellosen Einsatz in eurer Freizeit einen grossen Anteil an meiner Masterarbeit.
- Dem HC Rychenberg Winterthur für die Benützung der Infrastruktur.
- Der MedBase Winterthur für die kostenlose Ausleihe des Stadiometers und der Waage.
- Garmin Switzerland Distribution GmbH und Polar Electro Europe AG für die kostenlose Ausleihe der Sportuhren.
- Meiner Familie und Freundin für die super Unterstützung während der Erarbeitung der Masterarbeit.