

Der Nutzen der neuroaxialen Sonographie für die Punktionsplanung der geburtshilflichen Spinal- und Periduralanästhesie

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

Anke Veronika Herkenrath, geb. Reinelt

aus Brilon

2023

Angefertigt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Stefan Weber

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Hartmut Vatter

Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie

Tag der mündlichen Prüfung: 11.01.2023

Aus der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Mark Coburn

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis | 5 |
| 1. Einleitung | 6 |
| 1.1 Punktionsplanung der Spinal- und Periduralanästhesie | 6 |
| 1.2 Ultraschallunterstützung bei rückenmarksnahen Anästhesieverfahren | 11 |
| 1.3 Das Froschzeichen | 14 |
| 1.4 Fragestellung | 16 |
| 2. Material und Methoden | 17 |
| 2.1 Studiendesign | 17 |
| 2.2 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien..... | 17 |
| 2.3 Ultraschalluntersuchung..... | 18 |
| 2.4 Messwerte | 21 |
| 2.5 Zielgrößen | 22 |
| 2.6 Einflussgrößen | 24 |
| 2.7 Statistische Analyse..... | 25 |
| 2.7.1 Deskriptive Statistik..... | 26 |
| 2.7.2 Interferenzstatistik..... | 27 |
| 3. Ergebnisse | 29 |
| 3.1 Regionalanästhesie in der Geburtshilfe..... | 29 |
| 3.2 Präinterventioneller Ultraschall..... | 30 |
| 3.3 Deskriptive Statistik..... | 32 |
| 3.3.1 Einflussgrößen | 32 |
| 3.3.2 Zielgrößen | 39 |
| 3.3.3 Einfluss von Alter, Körpergröße, Schwangerschaftswoche und Body-Mass-Index auf die Zielgrößen..... | 45 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 3.4 Interferenzstatistik..... | 65 |
| 4. Diskussion | 70 |
| 4.1 Limitationen | 78 |
| 5. Zusammenfassung | 79 |
| 6. Abbildungsverzeichnis..... | 80 |
| 7. Tabellenverzeichnis..... | 83 |
| 8. Literaturverzeichnis..... | 86 |
| 9. Danksagung | 94 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|---|
| BMI | Body-Mass-Index |
| BRI | body roundness index |
| CSE | combined spinal epidural |
| DGAI | Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin |
| DGGG | Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe |
| ESAIC | European Society of Anaesthesiology and Intensive Care |
| LOR | loss of resistance |
| PC | posteriorer Komplex |
| PDA | Periduralanästhesie |
| PDPH | postdural puncture headache |
| PS | paramedian sagittal |
| PSO | paramedian sagittal oblique |
| RCT | randomized controlled trial |
| SPA | Spinalanästhesie |
| SS | Schwangerschaft |
| SSW | Schwangerschaftswoche |
| TS | transversal |
| UDP | unintentional dural puncture |
| WHO | World Health Organization |

1. Einleitung

1.1 Punktionsplanung der Spinal- und Periduralanästhesie

In der geburtshilflichen Anästhesie haben sich mit der lumbalen Spinal- und Periduralanästhesie zwei regionale rückenmarksnahe Anästhesieverfahren weltweit etabliert, die aufgrund des günstigeren Risiko-Nutzen-Profiles für Mutter und Kind bevorzugt zum Einsatz kommen (DGGG, 2020, Sung et al., 2021). Diese beiden neuroaxialen Verfahren stellen den Goldstandard in der geburtshilflichen Analgesie dar (DGAI, 2020, DGGG, 2021). Die Spinalanästhesie (SPA) ist das am häufigsten angewandte Anästhesieverfahren zur primären Sectio in Deutschland. Nach letzten Erhebungen fanden 2015 deutschlandweit 80,42 % aller primären Sectiones in Spinalanästhesie und 22,1 % der Spontangeburt unter Periduralanästhesie (PDA) statt (Perinatalerhebung 2015).

Bei der anästhesiologischen Versorgung von Schwangeren sollte immer das Wohlergehen von Mutter und Kind im Vordergrund stehen, was neben der oftmals angespannten Situation, in der sich eine Frau unter Wehen befindet, sowie dem kritischen Faktor Zeit bei unerwarteten Geburtskomplikationen bis hin zur Notsectio, zu erheblichem Stress bei allen Beteiligten inklusive des Anästhesieteams führen kann. In diesen Ausnahmesituationen muss der/die Anästhesist/in in der Lage sein, sein/ihr gewähltes Anästhesieverfahren ohne Zeitverzögerung und unter Einhaltung aller Sicherheitsstandards (best clinical practice) anzuwenden.

Bei der Punktionsplanung muss

1. der Punktionsort festgelegt,
2. die erwartete Punktionstiefe abgeschätzt und
3. der Punktionswinkel entsprechend der bei Punktion auftretenden Widerstände angepasst werden.

ad 1. Die Landmarkentechnik zur Höhenlokalisierung im lumbalen Punktionsbereich sowie zur Detektion der neuroaxialen Mittellinie ist das Standardverfahren vor Anlage einer Spinal- oder Periduralanästhesie. Voraussetzung hierfür sind tastbare Beckenkämme sowie palpable Dornfortsätze. Stiffler et al. (2007) bezifferten die Rate von schwer zu palpierenden Landmarken mit 5 % für Patienten mit Normalgewicht (BMI \leq 24,9 kg/m²), 33 % bei Übergewicht (BMI 25 – 29,9 kg/m²) bis hin zu 68 % bei Adipositas (BMI \geq 30 kg/m²). Die Tuffiersche Linie stellt die horizontale Verbindung zwischen beiden Beckenkämmen dar und passiert den Prozessus spinosus des 4. Lendenwirbelkörpers oder den Interspinalraum L4/5. Sie dient der Festlegung des Punktionsortes in der Horizontalen, die Verbindung zweier Dornfortsätze stellt die Vertikale dar. Die Schnittstelle dieser fiktiven Linien bildet den Punktionsort.

ad 2. Zur Platzierung der Periduralnadel bzw. des Periduralkatheters zur kontinuierlichen Analgesie im Periduralraum ist die „loss of resistance“-Technik (LOR) das Standardverfahren. Diese wurde erstmalig 1921 von Sicard und Forestier beschrieben (Sicard und Forestier, 1921). Hierbei wird die Periduralnadel (Tuohy 18 G, 80 mm) mittig in den lumbalen Interspinalraum eingebracht und mit aufgesetzter Spritze (10 ml Spritze mit Luer-System, 10 ml NaCl 0,9 %) langsam unter kontinuierlichem Druck auf den Spritzenstempel vorgeschoben, bis nach einem radiergummiartigem Widerstand, der vorsichtig durchdrungen wird, ein deutlicher Widerstandsverlust zu spüren ist. Für die Punktion des Periduralraumes sind Punktionskanülen zwischen 8 und 11 cm Länge (überlang) auf dem Markt. Mit dem Spritzeninhalt wird der Periduralraum aufgespritzt und bei einem gewünschten Katheterverfahren der Periduralkatheter ca. 5 cm in diesen Raum eingeführt.

Das Ligamentum flavum ist das anatomische Korrelat für den radiergummiartigen Widerstand. Dieses kann neben einem radiergummiartigem Charakter auch verknöchert oder bindegewebig weich sein, abhängig vom Alter, Geschlecht und hormonellem Status. An dieses grenzt die posteriore Dura an, die bei diesem Verfahren nicht perforiert werden darf, um postpunktionelle Kopfschmerzen (postdural puncture headache = PDPH), die für die Patientin mit einem erheblichen Diskomfort einhergehen, zu vermeiden.

Die räumliche Nähe dieser beiden Strukturen erhöht beim Ungeübten das Perforationsrisiko, das bei der geburtshilflichen Periduralanästhesie bei 0,15 bis 5 % liegt mit einem 50 bis 80 %-igem Risiko für das Auftreten von postpunktionellen Kopfschmerzen (Buddenberg et al., 2019, Rajagopalan et al., 2019). Das Risiko für die akzidentielle Duraperforation (UDP), PDPH, Gefäßpunktionen und Rückenschmerzen kann durch die präinterventionelle Sonographie vor allem bei adipösen Schwangeren signifikant gesenkt werden (Canturk et al., 2019, Grau et al., 2002, Sahin et al., 2014, Singh et al., 2013).

Das Aufsuchen des Periduralraumes mittels der LOR-Technik hat in der Geburtshilfe eine Versagerrate von 2 % bis 20 % je nach Expertise des Punktierenden und anatomischen Voraussetzungen (Carvalho, 2008, Choi et al., 2003, Pan et al., 2004, Singh et al., 2013, Tubinis et al., 2019). Eine insuffiziente PDA zur Spontangeburt kann für die Patientin eine schmerzhafteste Entbindung zur Folge haben. Durch den Verzicht auf schmerzfreie Erholungsphasen zum Kräftesammeln vor allem vor der Austreibungsphase kann sich der Geburtsverlauf verlängern und zum Einsatz von Opiaten peripartal führen. In einer großen Cochrane-Analyse mit über 11.000 Patientinnen erwies sich die PDA hinsichtlich der Linderung der Schmerzen während der Wehen und der Steigerung der Zufriedenheit der Mutter als überlegen gegenüber der peripartalen Opiatgabe und der Lachgasinhalation (Anim-Somuah et al., 2018). Die Inzidenz für einen zweiten Punktionsversuch variiert in der Literatur zwischen 1,0 % und 15,4%. Die Patientin wird erneut punktiert und den damit verbundenen verfahrensspezifischen Risiken ausgesetzt, was die Patientenzufriedenheit reduziert und Personalressourcen bindet (Sng et al., 2018). Eine fehlgeschlagene PDA zur elektiven Sectio hat in 4,3 % bis 6 % zur Konsequenz, dass der Kaiserschnitt in Vollnarkose mit erhöhten verfahrensspezifischen Risiken durchgeführt werden muss (Carvalho, 2008, Choi et al., 2003, Pan et al., 2004, Singh et al., 2013).

Für die Spinalanästhesie kommen feinere Nadeln zum Einsatz, da hierdurch kein Katheter platziert werden muss. Es stehen Introducer zwischen 3,0 und 5,0 cm sowie Spinalnadeln zwischen 10 und 13 cm Länge zur Verfügung. Die Spinalanästhesie, überwiegend als Single-Shot Verfahren eingesetzt, hat einen schnelleren Wirkungseintritt als die

Periduralanästhesie bei einer Wirkdauer, die abhängig vom in den Spinalraum applizierten Volumen des Lokalanästhetikums ist. Die Nadeln sind zudem spitz zugeschliffen (punktgeschliffen), was bei der Duraperforation nur einen kleinen Gewebedefekt reißt, der sich schneller verschließt als ein gestanztes Loch und das Risiko für ein früher regelmäßig beschriebenes Liquorverlustsyndrom mit heftigen Kopfschmerzen minimiert.

Die Anzahl der spinalen Punktionsversuche ist ein unabhängiger Prädiktor für Komplikationen wie Gefäßpunktionen und Parästhesien (Dhanger et al., 2018, de Oliveira Filho et al., 2002) sowie für das Auftreten von postpunktionellen Kopfschmerzen (Chekol et al., 2021). In einer aktuellen Metaanalyse mit 175 652 Schwangeren, die eine Sectio in Spinalanästhesie erhielten, wurde das Auftreten von PDPH mit einer gepoolten Prävalenz von 23,4% (1,16 bis 48,8 %) beschrieben (Chekol et al., 2021). Parästhesien während der Punktion sind ein signifikanter Risikofaktor für neurologische Komplikationen wie Radikulopathie und Cauda equina-Syndrom. Der präinterventionelle Ultraschall reduziert bei Patienten mit vorbeschriebenen und zu erwartenden Punktionsschwierigkeiten mit der Anzahl der Punktionsversuche die Komplikationsrate (Chin et al., 2011b, Dhanger et al., 2018, Jiang et al., 2020, Li et al., 2019, Park et al., 2020, Uyel und Kilicaslan, 2021), laut Young et al. (2021) in einer großen Metaanalyse sogar unabhängig vom Ausbildungsstand des Punktierenden und des Sonographierenden nach entsprechender Einweisung in die neuroaxiale Sonographie. Auch bei Schwangeren ohne vorbeschriebene Wirbelsäulenanomalien kann dieser erfolgreich eingesetzt werden, indem er die Erfolgsrate im ersten spinalen Punktionsversuch deutlich erhöht und die Häufigkeit von Parästhesien signifikant reduziert (Dhanger et al., 2018).

Für die Standard-Punktion dient als Führung ein 3,0 cm langer Introducer, der mittig interspinal eingeführt wird. Durch diesen wird die dünne, stumpfe Spinalnadel (Sprotte® 25 G x 90 mm, Introducer 30 mm) vorgeschoben, durchdringt den radiergummiartigen Widerstand des Ligamentum flavum, bis der Widerstand nachlässt und Liquor aus dem Spinalraum über die Spinalnadel zurückkommt. Die Spinal- und Periduralanästhesie lassen sich als CSE (combined spinal epidural) kombinieren.

Die Periduralanästhesie gilt als das schwierigste zu erlernende Verfahren in der anästhesiologischen Ausbildung. Diese kommt zum Einsatz bei einem Patientenkollektiv, das schwangerschaftsbedingt erschwerte Punktionsverhältnisse mit sich bringt aufgrund von Weichteilödemen, Gewichtszunahme, Hyperlordose sowie progressiver Beckenrotation (Grau et al., 2001, Keplinger et al., 2016). Um präinterventionell eine Aussage über die zu erwartenden Tiefen des Peridural- und Spinalraumes machen zu können, um sich dann sensibilisiert mit dem Punktionsmaterial unter Berücksichtigung zuvor beschriebener Techniken in diese Tiefen vorzutasten, bietet die neuroaxiale Sonographie wertvolle Informationen über die lumbale Anatomie sowie Messwerte für die gewünschten Tiefen (siehe 1.2).

Auch ohne auf apparative Technik zurückgreifen zu müssen, haben sich mehrere Untersuchungsgruppen mit Korrelationen zwischen diesen Tiefen und präinterventionell zu ermittelnden, patientenspezifischen Faktoren wie Körpergröße, Körpergewicht, Body-Mass-Index (BMI), Alter, Bauchumfang, Body Roundness Index (BRI), Gestationsalter, Ethnizität sowie untersuchungsspezifischen Einflüssen, wie der Punktionshöhe, auseinandergesetzt (Bassiakou et al., 2011, Canturk et al., 2019, Madhi et al., 2018, Razavizadeh et al., 2016, Sharma et al., 2011, Singh et al., 2013, Vallejo et al., 2010). Vor allem die gewichtsspezifischen Einflussgrößen erwiesen sich hier als prädiktiv für die Punktionstiefen, worauf im Diskussionsteil dieser Arbeit noch ausführlich eingegangen wird.

ad 3. Trifft der Introducer auf Widerstand, wird dieser bis auf Hautniveau zurückgezogen und der Winkel entsprechend steiler oder flacher gewählt. Lässt sich der Introducer problemlos in der zuvor festgelegten neuroaxialen Mittellinie positionieren, stößt dann aber die Spinalnadel auf Widerstand, wird die Spinalnadel entfernt und der Introducer auf Hautniveau zurückgezogen. Der Winkelveränderung des Introducers folgend wird die Spinalnadel beim nächsten Versuch in die zuvor ausgelotete Richtung geleitet. Die Periduralnadel wird entsprechend der Vorgehensweise des Introducers bei der Spinalanästhesie positioniert bzw. im Punktionswinkel korrigiert.

1.2 Ultraschallunterstützung bei rückenmarksnahen Anästhesieverfahren

Der präinterventionelle Ultraschall kann die Punktionsplanung in der geburtshilflichen Anästhesie erleichtern (siehe 1.1.), die Patientensicherheit erhöhen und den Patientenkomfort steigern (Kalagara et al., 2021, Perlas et al., 2016, Perna et al., 2017, Young et al., 2021). Sein Einsatz kann die Zeitdauer bis zur erfolgreichen Anlage einer Peridural- oder Spinalanästhesie bei schwierigen Punktionsverhältnissen wie Skoliose, Hyperlordose, vorangegangener Wirbelsäulen-OP und Adipositas verkürzen (Chin et al., 2011b, Li et al., 2019, Narkede et al., 2019, Tubinis et al., 2019) bzw. verlängert dieser die Prozesszeit klinisch nicht signifikant (Creaney et al., 2016, Ekinci et al., 2017, Jiang et al., 2020, Park et al., 2020, Turkstra et al., 2017, Young et al., 2021). Deswegen ist die neuroaxiale Sonographie ein potentiell vielversprechendes Instrument, um das Niveau der Punktionsplanung zu verbessern, gerade bei Lernenden und bei Schwangeren mit potentiell schwierigen anatomischen Verhältnissen wie Adipositas.

Doch findet der Ultraschall, der bei der peripheren Nervenblockade und der Anlage zentralvenöser Katheter bestens etabliert ist, nur zögerlich Akzeptanz für die neuroaxialen Anästhesieverfahren. 2008 hat das National Institute for Health and Care Excellence (NICE) in Großbritannien den Einsatz des präinterventionellen Ultraschalls zur Unterstützung bei der Anlage eines geburtshilflichen Periduralkatheters empfohlen (NICE, 2008). Das Verfahren hielt nur zögerlich Einzug in die Kreißsäle und wurde 2013 in einem von fünf Kreißsälen in Großbritannien (151 teilnehmende Kliniken) vor neuroaxialer Blockade eingesetzt (Bhatia et al., 2016). Dies entspricht der Quote die für Kanadische Universitätskliniken 2011 veröffentlicht wurde (Matava et al., 2011). Die European Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine (ESAIC) hat 2021 unter Berücksichtigung relevanter Literatur bis 9/2018 Richtlinien für die Anwendung von perioperativem Ultraschall (PERSEUS-RA = PERi-operative uSE of UltraSound) bei Regionalanästhesie verfasst (Boselli et al., 2021). Für die neuroaxiale Anästhesie in der Geburtshilfe wird postuliert, dass mithilfe des präinterventionellen Ultraschalls sowohl bei der PDA als auch SPA der intervertebrale Raum besser identifiziert werden kann (1C). Bezüglich Punktionserfolg, Komplikationsrate, Patientendiskomfort, PDPH und Patientenzufriedenheit ist die Aussagekraft der randomisierten kontrollierten Studien

(RCT) so inhomogen, dass lediglich geschlussfolgert wird, dass der präinterventionelle Ultraschall nicht schlechter als die Landmarkentechnik ist. Jegliche Zeitverzögerung für die Anlage einer PDA bzw. SPA durch den präinterventionellen Ultraschall ist klinisch nicht relevant (2C). Es wird empfohlen, den präinterventionellen Ultraschall für die PDA zu Ausbildungszwecken zu nutzen, um die Anzahl der Punktionsversuche zu reduzieren (1B).

In der Literatur des 21. Jahrhunderts haben sich in der Bezeichnung sonoanatomischer Strukturen im Ultraschallbild neben den eindeutig zu differenzierenden und zu benennenden knöchernen und bindegewebigen Strukturen die Bezeichnungen posteriorer und anteriorer Komplex durchgesetzt, die in den ersten beiden Dekaden des neuen Jahrtausend federführend von Balki et al. (2009) und Chin et al. (2011a) eingeführt wurden. Der posteriore Komplex oder auch Ligamentum flavum-Dura mater-Einheit bzw. -Komplex setzt sich aus dem Ligamentum flavum, dem posterioren Epiduralraum und der posterioren Dura zusammen (Balki et al., 2009, Chin et al., 2011a, Dhanger et al., 2018, Sahin und Balaban, 2018, Vallejo et al., 2010). Die anteriore Dura zusammen mit dem Ligamentum longitudinale posterior und dem Wirbelkörperhinterrand bilden den anterioren Komplex. Die in den beiden Komplexen jeweils zusammengefassten Strukturen lassen sich im transversalen Ultraschallbild nur schwer voneinander abgrenzen und imponieren in ihrer Gesamtheit als echoreiche Strukturen. Die beiden im Ultraschall als weiße Linien darstellbaren Komplexe verlaufen parallel zueinander und begrenzen den Spinalraum (Balki, 2010, Chin et al., 2011a, Grau et al., 2001, Kalagara et al., 2021, Sahin und Balaban, 2018).

Für die Sonoanatomie der lumbalen Wirbelsäule wurden 2011 von Chin et al. drei standardisierte Ultraschallebenen etabliert, die seither im präinterventionellen Ultraschall regelmäßig zur Bestimmung des Punktionsortes, der Punktionstiefe und des Punktionswinkels benutzt werden (Chin et al., 2011a, Dhanger et al., 2018, Kalagara et al., 2021, Sahin und Balaban, 2018):

1. In der paramedianen sagittalen Ebene (PS) wird der Schallkopf sagittal 3 - 4 cm neben der lumbalen Wirbelsäule und parallel zu dieser aufgesetzt und die Processus transversi dargestellt. Dann wandert der Schallkopf nach medial und die Processus articulares kommen ins Bild.

2. Durch Kippen des Schallkopfes in Richtung Mittellinie gelangt man in die paramediane sagittal schräge Ebene (PSO). In dieser Einstellung lässt sich in caudocephaler Richtung zunächst das Os sacrum als echoreiches Band identifizieren und an dieses angrenzend die Laminae der lumbalen Wirbelsäule abzählen sowie der posteriore und anteriore Komplex darstellen. Diese Einstellung dient der Höhenlokalisation des interspinalen Punktionsraumes und wird in Kombination mit
3. der dritten Standardebene, der transversalen Ebene (TS), für die Festlegung des Punktionsortes benutzt. Der Schallkopf wird hierfür in der in PSO festgelegten Punktionshöhe um 90 ° gedreht, so dass der interlaminare Raum zwischen zwei Wirbelkörpern in neuroaxialer Mittellinie zur Darstellung kommt. Der Winkel des Schallkopfes stellt den Punktionswinkel dar. Sowohl in PSO als auch TS kann die Tiefe bis zum Spinal- respective Periduralraum vermessen werden.

Für die Orientierung im Ultraschall ist die Kenntnis der anatomischen Strukturen essentiell. Als Orientierungshilfen wurden in der Literatur bereits unterschiedliche Muster beschrieben, deren Wiedererkennungswert auch dem Ungeübten den Einsatz des Ultraschalls erleichtern soll. Das Sägezahnmuster („saw tooth pattern“) wird als Orientierungshilfe zur Höhenlokalisation in der paramedianen sagittal schrägen Schallebene (PSO) beschrieben (Balki 2010, Vallejo et al., 2010). Zur Musterbildung tragen die Processus spinosi (Vallejo et al., 2010) respektive die Laminae (Balki 2010, Sahin und Balaban, 2018, Kalagara et al., 2021) als Sägezähne („saw teeth“) und der posteriore Komplex als Basis bei. Karmakar et al. (2012) sehen in diesen anatomischen Strukturen das Muster eines Pferdekopfes („horse head sign“). Lateralisiert man den Ultraschallkopf in der paramedianen sagittalen Schallebene (PS), treten zunächst die Processus articulares in Form von Kamelhöckern („camel hump sign“, Karmakar et al., 2012, Kalagara et al., 2021) und nach ca. 3 bis 4 cm Entfernung von der Mittellinie die Processus transversi als Dreizack („Trident sign“, Chin et al., 2011a, Kalagara et al., 2021) in Erscheinung. Chin et al. gelingt es in PSO (2011a) sowie Sahin und Balaban in TS (2018) den posterioren Komplex als zwei parallel zueinander verlaufende echoreiche Strukturen zu differenzieren, die einem Gleichheitszeichen („equal sign“) ähneln. Der

gleiche Name findet Verwendung für die in transversaler Schnittebene (TS) parallel verlaufenden echoreichen Striche, die den anterioren und posterioren Komplex darstellen und den Spinalraum begrenzen (Balki 2010, Grau et al., 2001, Vallejo et al., 2010). Carvalho (2008) sieht in den Strukturen Processus transversi, Processus articulares und Ligamentum flavum im transversalen Ultraschall (TS) mit künstlicher Aufhellung das Bild einer Fledermaus („flying bat“).

1.3 Das Froschzeichen

Bei der genaueren Betrachtung der transversalen Ultraschallaufnahmen der 200 schwangeren Patientinnen dieser Studie zeichneten die Processus articulares sowie der posteriore und der anteriore Komplex das wiederkehrende Bild eines „Froschzeichens“.

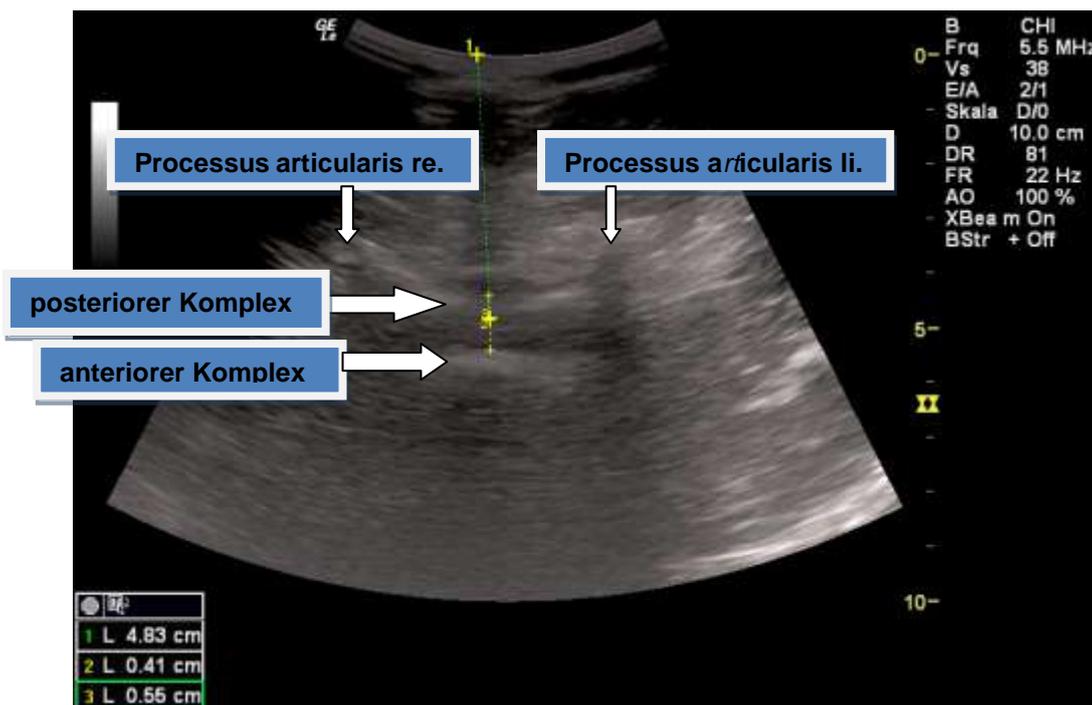


Abb. 1: Ultraschallbild in transversaler Ebene mit Beschriftung (blaue Kästchen) der Strukturen, die das Froschzeichen bilden: der Processus articularis rechts (re.) und links (li.), der anteriore und der posteriore Komplex. Im weißen Kästchen am unteren linken Bildrand werden die mittels Messtool des Ultraschallgerätes ermittelten Streckenlängen angegeben (siehe 2.4).



Abb. 2: Ultraschallaufnahme



Abb. 3: der Frosch



Abb. 4: Visualisierung des Froschzeichens

1.4 Fragestellung

In der hier vorliegenden retrospektiven Studie soll untersucht werden, ob präinterventioneller Ultraschall an einem Patientenkollektiv einer großen Universitätsklinik erfolgreich anwendbar ist. Darüber hinaus sollen die sonoanatomischen Grundlagen der lumbalen neuroaxialen Sonographie vertieft werden. Erwartete Punktionstiefen sollen in Zusammenhang gesetzt werden mit patientenspezifischen Faktoren.

An einem Patientenkollektiv von 200 schwangeren Frauen, die sich an der Frauenklinik des Universitätsklinikums Bonn, einem Zentrum der Maximalversorgung, einem gynäkologischen Eingriff in Regionalanästhesie mit präinterventionellem transversalem Ultraschall unterzogen, wird folgender Fragestellung nachgegangen:

1. Wie häufig ist der Spinalraum darstellbar ?
2. Wie häufig lässt sich das sonographische „Froschzeichen“ darstellen ?
 1. Welche Punktionstiefen sind für die SPA bzw. PDA zu erwarten ?
 2. Beeinflussen Alter, Körpergröße, Schwangerschaftswoche (SSW) oder Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (BMI vor SS) die erwartete Punktionstiefe der SPA bzw. PDA ?
3. Beeinflussen Alter, Körpergröße, SSW oder BMI vor SS folgende sonoanatomische Strukturen?
 - a) Dicke des posterioren Komplexes (PC)
 - b) Durchmesser des Spinalraumes
 - c) Qualität der Visualisierung des Froschzeichens

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign

In der vorliegenden Studie handelt es sich um eine ausschließlich retrospektive wissenschaftliche Auswertung von Daten, die im Rahmen einer medizinischen Routinebehandlung erhoben wurden. Als Auswertungsmaterial dienten die im Arbeitsspeicher des Ultraschallgerätes LOGIQ e der Firma GE gespeicherten Ultraschallsequenzen der lumbalen Wirbelsäule von schwangeren Patientinnen der Frauenklinik des Universitätsklinikums Bonn im Zeitraum von Dezember 2011 bis Juli 2014. Auf den Sequenzen waren Name, Untersuchungstag und Uhrzeit gespeichert. Informationen zur Technik der Punktion, Indikation für das regionale Anästhesieverfahren, zum Untersucher, Untersuchungszeitpunkt sowie zu Patientendaten wurden durch die Dokumentation auf den Anästhesieprotokollen in Andok[®] (DATAPEC GmbH, Plienzhausen, Germany) ermittelt. Bei fehlenden Einträgen wurden diese durch die patientenbezogenen Daten des Datenmanagementsystems der Geburtshilfe „PIA“ (LB-Systems Messgeräte GmbH, Wien, Österreich) ergänzt. Alle erhobenen Daten wurden nach Zusammenfügen von Bild- und Dokumentationsmaterial vollständig anonymisiert. Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns ist kein Ethikvotum nötig.

2.2 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien

221 schwangere Patientinnen erhielten im Zeitraum von Dezember 2011 bis Juli 2014 in der Frauenklinik des Universitätsklinikums Bonn vor der Anlage eines rückenmarksnahen Anästhesieverfahrens zur elektiven Sectio, vaginalen Entbindung, Cerclage oder Fetoskopie eine sonographische Untersuchung der lumbalen Wirbelsäule. Sie wurden alle unabhängig von weiteren Vorerkrankungen in die Studie eingeschlossen.

2.3 Ultraschalluntersuchung

Der präinterventionelle Ultraschall wurde von dem für die geburtshilfliche Abteilung zuständigen anästhesiologischen Oberarzt selbst oder unter Supervision von diesem durchgeführt. Alle verantwortlichen Untersucher hatten im Vorfeld den Kurs "Anästhesie fokussierte Sonographie", Modul 3: Neurosonographie der DGAI absolviert. Die Untersuchung durfte die Prozessabläufe im Operations- und Kreißsaal nicht verzögern und wurde ausschließlich bei geplanten Eingriffen als Teil des Routineverfahrens durchgeführt. Als Ultraschallgerät kam das LOGIQ e der Firma GE zum Einsatz. Die initiale Eindringtiefe im Abdomen-Modus wurde auf 7 bis 10 cm festgesetzt. Tiefe, Fokus und Gain wurden während der Ultraschalluntersuchung bedarfsadaptiert angepasst.

Die sitzende Patientin wurde aufgefordert, den Kopf zu anteflektieren und den Rücken dem Untersucher entgegen zu schieben. Die geplante Punktionshöhe L3/4 wurde mit der konventionellen Landmarkentechnik palpirt (siehe 1.1).

Zur Identifizierung der Mittellinie wurde der Sektorschallkopf (2 - 5,5 MHz) transversal und parallel zur Sitzfläche der Patientin direkt auf den Processus spinosus von L4 aufgesetzt. Der Processus spinosus erscheint als echoreiche Struktur in Hautnähe mit Schallauslöschung der nachfolgenden Gewebestrukturen (Abb. 5).

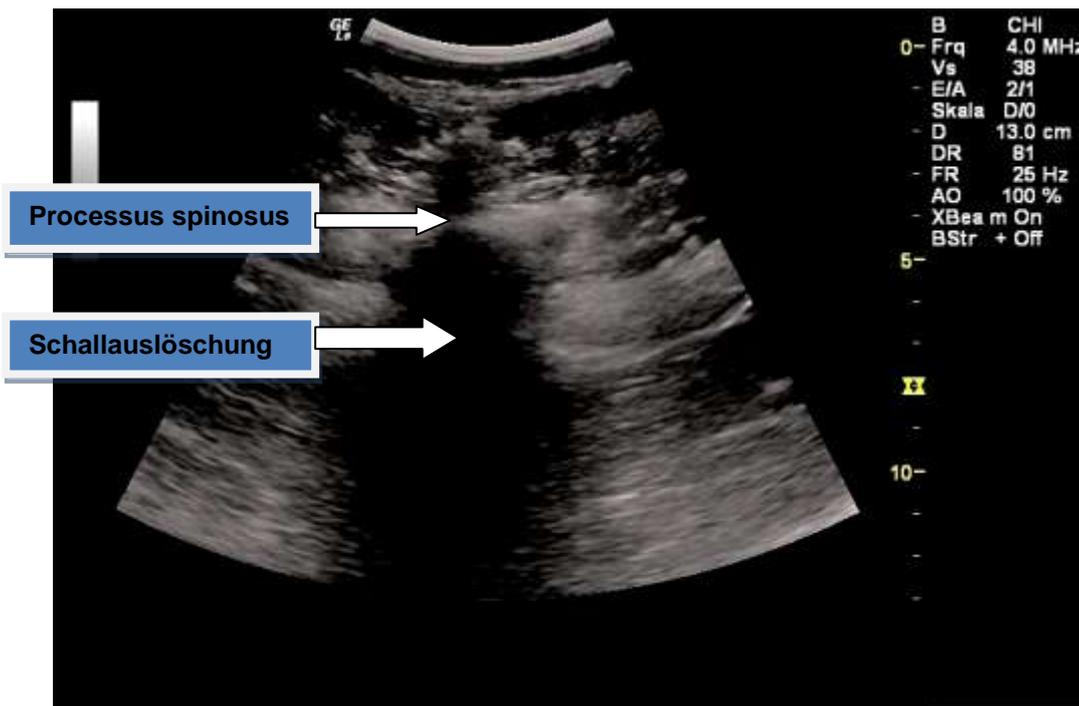


Abb. 5: Processus spinosus mit Schallauslöschung (acoustic shadow)

Diese häufig trianguläre Schallauslöschung wurde im Ultraschallbild zentriert, so dass sie als symmetrische Struktur in der Bildmitte erscheint. Die Sonde, deren Ausrichtung weiter parallel zur Sitzfläche blieb, wurde vorsichtig nach cephal geschoben, bis der interspinale und interlaminare Raum mit Blick auf den Vertebralkanal in Höhe L3/4 sichtbar wurde. Ziel war es, das beste akustische Fenster mit möglichst scharfer Abgrenzung der Processus articulares sowie des posterioren und anterioren Komplexes darzustellen.

Das Ligamentum interspinosum stellt sich als dunkle vertikale Linie dar, umrahmt vom anliegenden echoreichen Musculus erector spinae. In der Tiefe leuchten zwei parallel zueinander verlaufende echoreiche Linien auf, die den posterioren und den anterioren Komplex abbilden. Die Komplexe begrenzen den echoarmen Spinalraum. Die Processus transversi und die Processus articulares liegen in derselben Ebene wie der interlaminare Raum und dienen als Orientierungspunkte (Abb. 6).

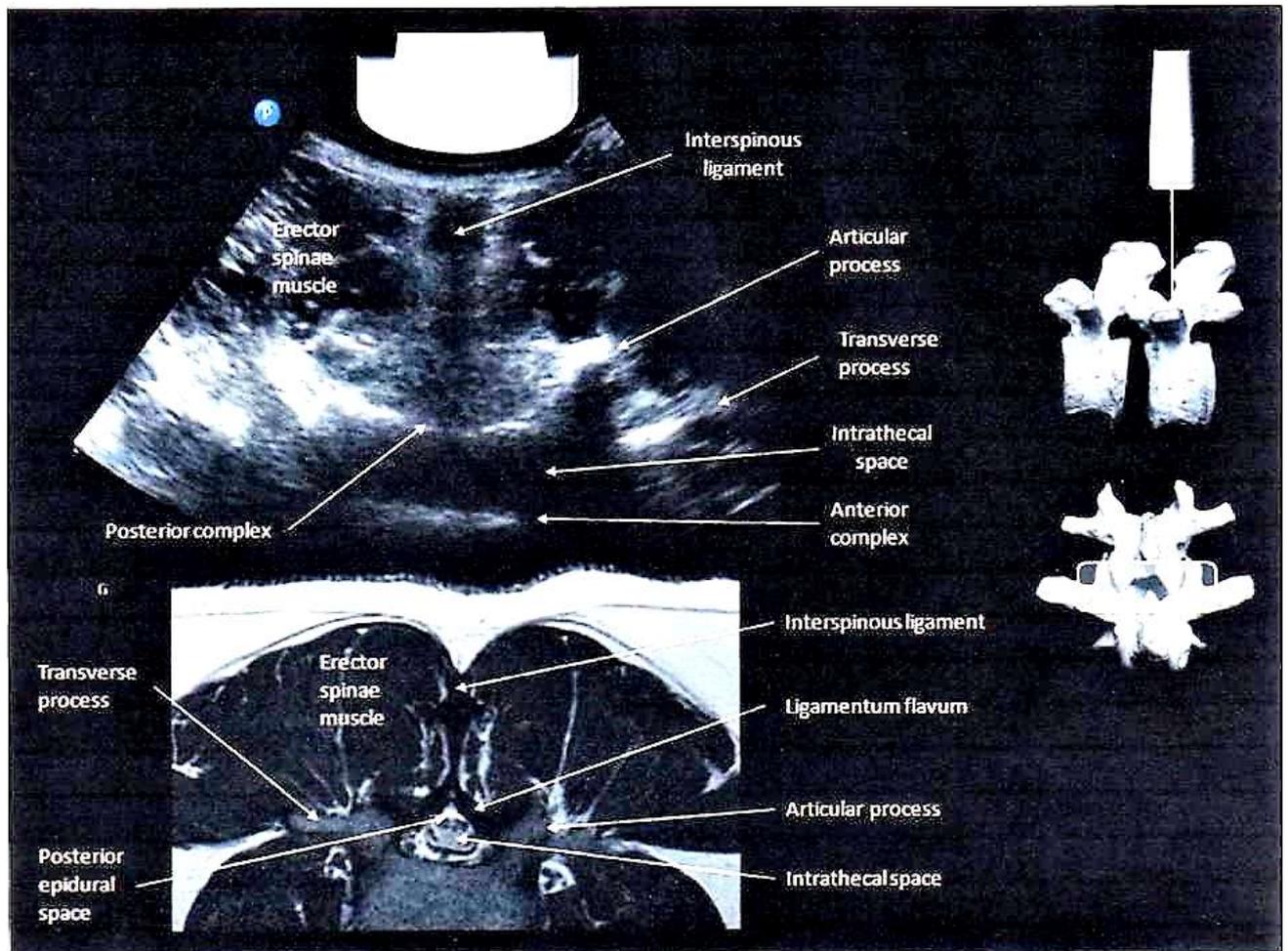


Abb. 6: Transversaler Ultraschall des lumbalen interlaminaeren Raumes mit entsprechender MRT-Aufnahme und Darstellung der sonoanatomisch relevanten Strukturen wie der Processus articulares und des anterioren und posterioren Komplexes (mit freundlicher Genehmigung durch KiJinn.Chin@uhn.ca)

Das Ligamentum flavum wird im MRT als trianguläre Struktur abgebildet (Abb. 7).

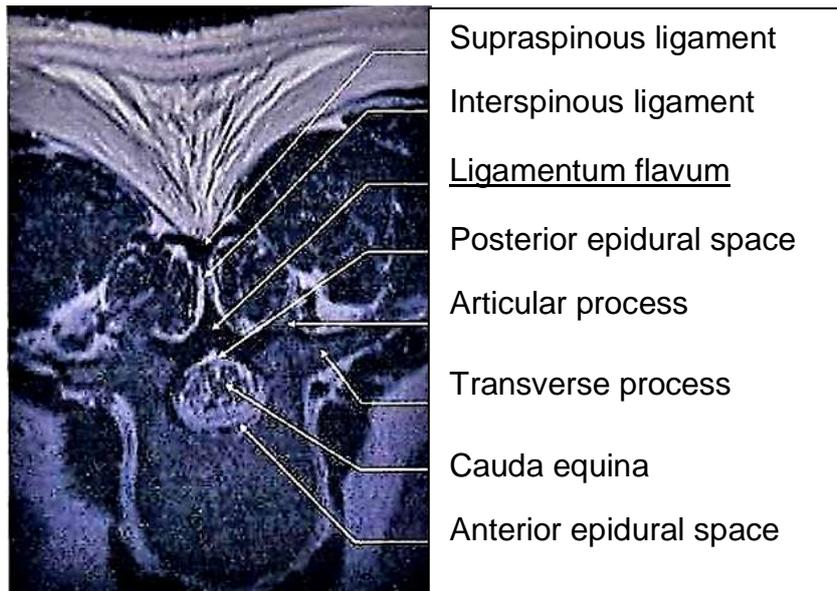


Abb. 7: MRT-Aufnahme mit triangulärer Darstellung des Ligamentum flavum (mit freundlicher Genehmigung durch KiJinn.Chin@uhn.ca)

Die Untersucher hatten die Möglichkeit, den erwarteten Weg der Punktionsnadel als Videosequenz oder Einzelbild zu speichern.

2.4 Messwerte

Mit dem Messtool des Ultraschallgerätes wurde als erster Messwert die spinale Punktionstiefe, das heißt die Strecke vom Hautniveau durch das Ligamentum interspinosum bis zur Vorderfläche des posterioren Komplexes, ermittelt (Abb. 9, roter Pfeil). Als zweiter Messwert wurde die Dicke des posterioren Komplexes bestimmt (Abb. 9, grüner Pfeil). Die dritte Messstrecke reicht vom Vorderrand des posterioren Komplexes bis zur Rückfläche des anterioren Komplexes und vermisst damit den Durchmesser des Spinalraumes (Abb. 9, blauer Pfeil).

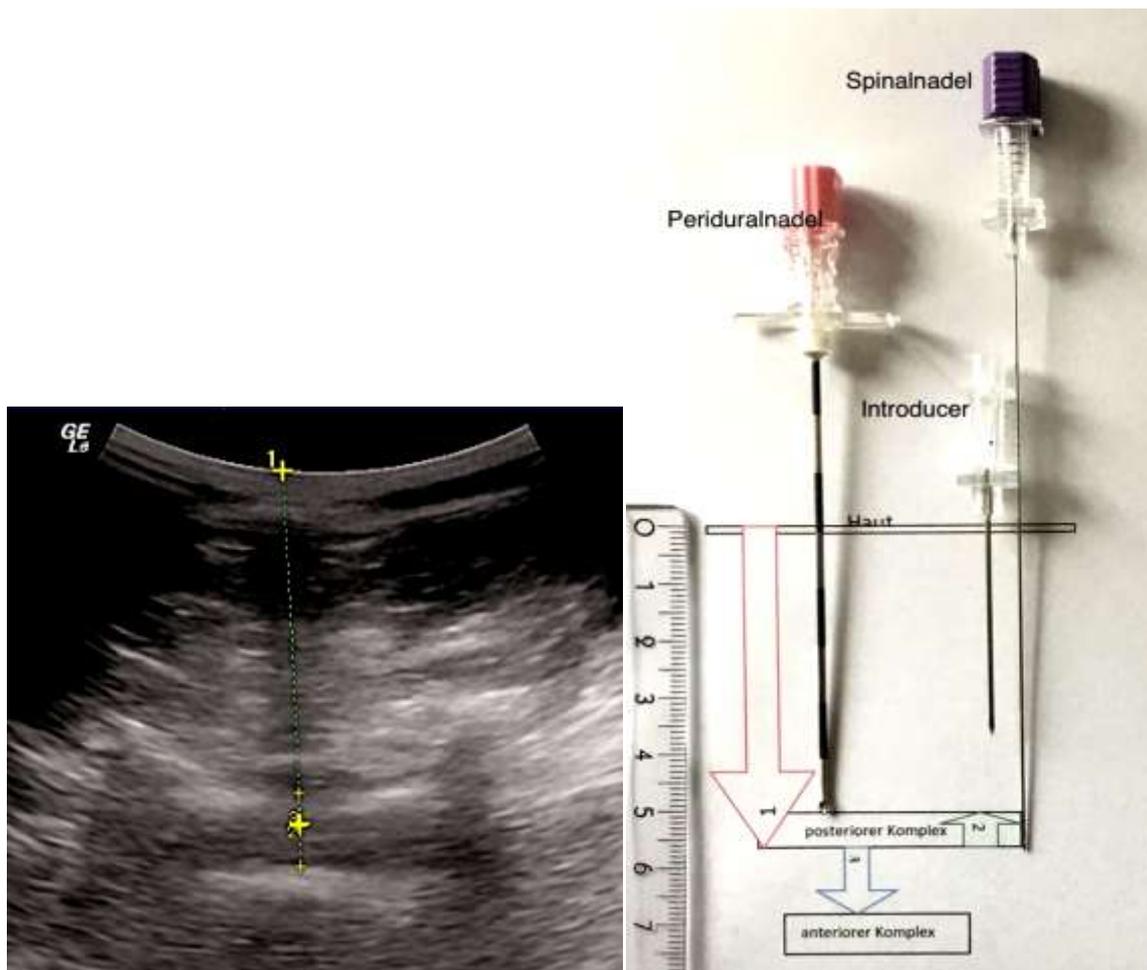


Abb. 8: Messstrecken 1 - 3 im Ultraschall **Abb. 9:** Messstrecken 1 - 3 schematisch mit Punktionsmaterial

In Abbildung 8, einem vergrößerten Ausschnitt aus Abbildung 1, sind die drei Messstrecken mit dem Messtool des Ultraschallgerätes vermessen worden. Die Ergebnisse sind in kleinen Kästchen am linken unteren Bildrand in Abbildung 1 dargestellt.

Aus den Videosequenzen wurde zur Messung der Zielgrößen die beste Sequenz ausgewählt

2.5 Zielgrößen

Aus den unter 2.4 definierten Strecken lassen sich die vier im Weiteren genauer zu untersuchenden Zielgrößen ableiten. Diese sind:

1. erwartete Tiefe des spinalen Punktionsraumes (= 1. Messwert)
2. erwartete Tiefe des periduralen Punktionsraumes (= 1. minus 2. Messwert)
3. erwartete Dicke des posterioren Komplexes (= 2. Messwert)
4. erwarteter Durchmesser des Spinalraumes (= 3. Messwert).

Diesen vier Zielgrößen werden im Ergebnisteil Vergleichswerte aus der Literatur gegenübergestellt.

Die Qualität des Froschzeichens, als fünfte Zielgröße, wurde mit den Schulnoten 1 bis 6 (sehr gut bis ungenügend) bewertet. Hierzu wurden die vermessenen und im Ultraschallgerät gespeicherten Aufnahmen der schwangeren Patientinnen (Abb. 1 u. 8) auf einer mobilen Festplatte gespeichert und am Computer mit dem RadiAnt DICOM Viewer bezüglich Bildqualität optimiert.

Tab. 1: Punkteverteilung für die sonoanatomischen Strukturen Processus articulares, posteriorer und anteriorer Komplex in der transversalen Ultraschallebene

| Beschreibung | Punkte |
|--|----------------|
| Processus articulares | max. 4, min. 0 |
| Processus articularis re./li. als Froschauge | je 2 |
| Processus articularis re./li. als rundliche Struktur | je 1 |
| Processus articularis re./li. nicht zu erkennen | je 0 |
| posteriorer Komplex | max. 2, min. 0 |
| posteriorer Komplex mit scharf begrenzter Vorderfläche | 2 |
| posteriorer Komplex mit unscharf begrenzter Vorderfläche | 1 |
| posteriorer Komplex nicht abgrenzbar | 0 |
| anteriorer Komplex | max. 2, min. 0 |
| anteriorer Komplex mit scharf begrenzter Rückfläche | 2 |
| anteriorer Komplex mit unscharf begrenzter Rückfläche | 1 |
| anteriorer Komplex nicht abgrenzbar | 0 |

Für die maximale Punktzahl von 8 wurde die Note 1 (= sehr gut) vergeben, für 7 Punkte die Note 2 (= gut), für 6 Punkte die Note 3 (= befriedigend), für 5 Punkte die Note 4 (= ausreichend), für 4 Punkte die Note 5 (= mangelhaft) und für ≤ 3 Punkte die Note 6 (= ungenügend) (Tab. 1).

Bis einschließlich Note 3 lässt sich das Froschzeichen im Ultraschall gut (wieder-) erkennen (Abb. 1 - 4).

2.6 Einflussgrößen

Als Einflussgrößen wurden Alter (Jahre), Körpergröße (cm), Schwangerschaftswoche (Woche) und Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (kg/m^2) definiert. Die Angaben zu Alter, Körpergröße und Gewicht der Patientinnen vor der Schwangerschaft und beim Eingriff sowie zur Schwangerschaftswoche wurden den Anästhesieprotokollen in Andok[®] (DATAPEC GmbH, Plienzhausen, Germany) entnommen. Ergänzt wurden diese durch die im Datenmanagementsystem der Geburtshilfe "PIA" (LB-Systems Messgeräte GmbH, Wien, Österreich) gespeicherten Daten. Wenn die Angaben zu den Einflussgrößen in den Datensystemen nicht für alle 200 Patientinnen zu eruieren waren, wird die Anzahl der in die Auswertung eingehenden Fälle (n) separat angegeben. Die Geburtenstatistik für die Jahre 2011 bis 2013 wurde mir freundlicherweise von der Frauenklinik des Universitätsklinikums Bonn zur Verfügung gestellt.

Die Schwangerschaftswochen wurden entsprechend der in der Gynäkologie und Geburtshilfe üblichen Einteilung mit z.B. 36. Woche = 35 (SSW) + 1 (Tag) bis 36 (SSW) + 0 (Tage) unterteilt.

Der Body-Mass-Index setzt das Körpergewicht in Verhältnis zum Quadrat der Körpergröße. Eine genauere Bewertung von Statur, Geschlecht, Muskelmasse oder Fettanteil wird nicht abgebildet. Die Berechnung des BMI erfolgte nach der folgenden Formel:

$$\text{BMI (kg/m}^2\text{)} = \text{Körpergewicht (kg)} : [\text{Körpergröße (m)}]^2$$

Die Patientinnen wurden entsprechend der BMI-Klassifikation der Weltgesundheitsorganisation (WHO) in 6 Gruppen eingeteilt (Tab. 2)

Tab. 2: BMI-Klassifikation der WHO und Einteilung der Gruppen

| Kategorie | BMI (kg/m ²) | Gruppe |
|--------------------------------------|--------------------------|--------|
| Untergewicht | < 18,5 | 1 |
| Normalgewicht | 18,5 - 24,9 | 2 |
| Übergewicht (Präadipositas) | 25 - 29,9 | 3 |
| Fettleibigkeit (Adipositas) Grad I | 30 - 34,9 | 4 |
| Fettleibigkeit (Adipositas) Grad II | 35 - 39,9 | 5 |
| Fettleibigkeit (Adipositas) Grad III | >/= 40 | 6 |

Für das schwangere Patientenklientel der vorliegenden Studie gilt der Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (BMI vor SS) als gewichtsbezogenen Einflussgröße.

2.7 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte durch das Programm IBM SPSS Statistics Version 26. Das Signifikanzniveau wurde mit $\alpha = 0,05$ festgelegt und entsprechend der Bonferroni-Korrektur korrigiert. Bei Datenunvollständigkeit in einigen Datensätzen aufgrund des retrospektiven Studiendesigns wurde die Anzahl (n) der analysierten Datensätze bei den Ergebnissen der jeweiligen Variable mit angegeben.

2.7.1 Deskriptive Statistik

Die Auswertung der Daten erfolgte zur übersichtlichen Darstellung der Ziel- und Einflussgrößen zunächst deskriptiv. Hier wurden neben den Medianen mit Minimum und Maximum auch die Mittelwerte und Standardabweichungen in Tabellenformat angegeben.

Zur übersichtlichen Darstellung kamen Balken- und Boxplot-Diagramme zum Einsatz. Die untere Grenze der blauen Box der Boxplot-Diagramme beschreibt die Lage des unteren Quartils. Mindestens 25 % aller Messwerte sind kleiner oder gleich bzw. mindestens 75 % größer oder gleich dem unteren Quartil. Die obere Grenze der blauen Box wird als oberes Quartil bezeichnet. Hier sind 75 % aller Messwerte kleiner oder gleich bzw. 25 % größer oder gleich dem oberen Quartil. Der Median, der als dicker schwarzer Balken innerhalb des blauen Rechtecks imponiert, teilt die Gesamtheit aller Werte in zwei Hälften. Die T-förmigen Anhängsel an der blauen Box geben nach unten den kleinsten gemessenen Wert bzw. nach oben den größten Wert, der noch nicht als Ausreißer gilt, an. Die mit ° markierten Ausreißer sind Daten, die außerhalb des 1,5 fachen Interquartilsabstand liegen (Brosius, 2012, Kapitel 8).

Histogramme wurden erstellt, um die Normalverteilung der Einflussgrößen in der Stichprobe zu visualisieren.

Zeichnete sich im Boxplot-Diagramm ein linearer Zusammenhang zwischen einer Einflussgröße und einer Zielgröße ab, wurde zur Verifizierung bzw. zur Bestimmung der Stärke der Korrelation die Pearson-Korrelation eingesetzt. Der Korrelationskoeffizient (r) nimmt stets Werte zwischen 1 und -1 an. Das Vorzeichen beschreibt die Richtung des Zusammenhangs zwischen den Variablen, der Betrag die Stärke der Korrelation (Tab. 3). Ein Wert von 1 zeigt eine perfekte positive Korrelation zwischen zwei Größen an, das heißt hohe Werte der einen Variable treten gleichzeitig mit hohen Werten der anderen Variable auf. Je näher der Wert des Korrelationskoeffizienten an dem Wert 0 liegt, desto schwächer ist die Korrelation zwischen den Variablen (Brosius, 2012, Kapitel 14, Hemmerich, 2015-2021a).

Tab. 3: Korrelationskoeffizienten (r) nach Cohen zur Beschreibung der Stärke eines linearen Zusammenhangs zweier Variablen (Cohen, 1988)

| Interpretation von r nach Cohen(1988) | |
|---|------------|
| geringe/schwache Korrelation | $r = 0.10$ |
| mittlere/moderate Korrelation | $r = 0.30$ |
| große/starke Korrelation | $r = 0.50$ |

In einem zweiseitigen Signifikanztest wird jeweils die Signifikanz (p) des Koeffizienten (r) ausgewiesen. Der p -Wert überprüft, ob sich der Korrelationskoeffizient signifikant von 0 (es gibt keinen Zusammenhang) unterscheidet. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt.

2.7.2 Interferenzstatistik

Konnte in der Pearson-Korrelation der lineare Zusammenhang zwischen einer Einflussgröße und einer Zielgröße bestätigt werden, sollte darüber hinaus der Fragestellung nachgegangen werden, inwieweit man durch die Werte der Einflussgrößen (= erklärenden Variablen) Rückschlüsse auf den Wert der Zielgröße (= abhängige Variable) ziehen kann, was nach Überprüfung der Modellvoraussetzungen mithilfe der Regressionsanalyse untersucht wurde.

Voraussetzung für die sinnvolle Interpretation dieser beiden Analyseverfahren ist die Normalverteilung der Residuen, was durch den Kolmogorov-Smirnov-Test und den Shapiro-Wilk-Test überprüft wurde.

Mit Regression wird untersucht, ob einem Phänomen eine Gesetzmäßigkeit zugrunde liegt, die dann durch die Regressionsgleichung quantifiziert wird. Mithilfe der multiplen linearen Regressionsanalyse werden die vier in 2.6 benannten Einflussgrößen (= erklärenden Variablen) gleichzeitig einer der unter 2.5 definierten Zielgrößen (= abhängigen Variablen) gegenübergestellt um herauszufinden, welchen Effekt die Ein-

flussgrößen auf die Zielgröße haben. Hierzu wird neben dem unstandardisierten Koeffizienten inklusive Standardfehler und Signifikanz (p) für jede Einflussgröße ein standardisierter Koeffizient ermittelt. Letzterer ist dann interessant, wenn die Einflussgrößen nach Wichtigkeit sortiert werden sollen.

Die Regressionsgleichung für unser Modell lautet:

$$\text{Zielgröße} = \text{Konstante } a + b_1 \times \text{Alter} + b_2 \times \text{Größe} + b_3 \times \text{SSW} + b_4 \times \text{BMI vor SS}$$

mit b_1 bis b_4 = der/die jeweils ermittelte unstandardisierte Regressionskoeffizient/Effektgröße (Brosius, 2012, Kapitel 15)

Der multiple Regressionskoeffizient (R) beschreibt die Korrelation zwischen den vorhergesagten Werten des Modells und den tatsächlichen Werten der Zielgröße. Zur Interpretation ist die Einteilung nach Cohen (Tab. 4) gebräuchlich. Der multiple Determinationskoeffizient R^2 ist das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten und gibt Aufschluss über die aufgeklärte Varianz des Modells, d.h. wie gut unser Modell insgesamt die Daten erklärt (Bjoernwalther.com, 2018, Brosius, 2012, Kapitel 15, Hemmerich, 2015 - 2021b).

Tab. 4: Interpretation von R^2 nach Cohen zur Beschreibung der aufgeklärten Varianz des Regressionsmodells (Cohen, 1988)

| Interpretation von R^2 nach Cohen (1988) | |
|--|--------------|
| geringe/schwache Varianzaufklärung | $R^2 = 0,02$ |
| mittlere/moderate Varianzaufklärung | $R^2 = 0,13$ |
| hohe/starke Varianzaufklärung | $R^2 = 0,26$ |

Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt.

3. Ergebnisse

3.1 Regionalanästhesie in der Geburtshilfe

2011 gab es an der Frauenklinik des Universitätsklinikums Bonn 1629 Geburten, bei denen in 65 % ein rückenmarksnahes Anästhesieverfahren zum Einsatz kam. 2012 kamen in der Frauenklinik der Uniklinik Bonn 1603 Kinder zur Welt, in 1037 Fällen, d.h. auch in diesem Jahr in 65 %, in Spinal- oder Periduralanästhesie. 2013 kam bei 61 % der Geburten die Regionalanästhesie zum Einsatz (Tab. 5).

Die Sectorate lag in den Jahren 2011 bis 2013 bei 44 respektive 41 respektive 39 % (Tab. 5). Vergleichswerte führt das Statistische Bundesamt für die Sectorate bezogen auf alle Krankenhausentbindungen in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013 mit 32,2 versus 31,9 versus 31,8 % an (Statistisches Bundesamt, 2021).

Tab. 5: Anteil der Regionalanästhesie zur Geburt (Fallzahl und %), unterteilt in Spinal- und Periduralanästhesie, in den Jahren 2011 bis 2013. Die Geburten sind gegliedert in Spontangeburt und Sectiones (Fallzahl und %).

| Jahr | Geburten | | | | SPA gesamt | PDA gesamt |
|------|----------|--------------|--------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| | gesamt | Sectiones | Spontan- geburt | mit Re- gional- anästhesie | | |
| 2011 | 1629 | 716 (44%) | 913 (56%) | 1061 (65%) | 580 | 481 |
| 2012 | 1603 | 652 (41%) | 951 (59%) | 1037 (65%) | 526 | 511 |
| 2013 | 1639 | 646 (39%) | 993 (61%) | 1003 (61%) | 527 | 476 |

3.2 Präinterventioneller Ultraschall

Die 221 gespeicherten transversalen Ultraschallaufnahmen der lumbalen Wirbelsäule von schwangeren Patientinnen, die im Zeitraum von 12/2011 bis 7/2014 in der Frauenklinik des Universitätsklinikum Bonn präinterventionell sonographiert wurden, wurden zur weiteren Auswertung herangezogen.

189 Patientinnen wurden vor Anlage einer Spinalanästhesie zur Sectio sonographiert, was den Hauptanteil der präinterventionellen Ultraschallaufnahmen ausmacht. Lassen sich in den Jahren 2011 bis 2013 alle Ultraschalluntersuchungen einer Intervention zuordnen, so gibt es im Jahr 2014 für 5 präinterventionell sonographierte Schwangere weder im Datensystem der Frauenklinik (PIA) noch in dem der Anästhesiologie (Andok[®]) Informationen zum Narkoseverfahren oder zur Entbindungsart (Tab. 6).

Tab. 6: Interventionen in ultraschallunterstützter Regionalanästhesie verteilt auf die Studienjahre 2011 bis 2014; 189 der 221 präinterventionellen Ultraschallaufnahmen, was einem Anteil von 86 % entspricht, erfolgten vor Anlage einer Spinalanästhesie zur Sectio (blaue Markierung).

| Jahr | n | Cerclage | Fetoskopie in PDA | Sectio in SPA | Sectio in PDA | Sectio in CSE | Spontan- partus In PDA |
|-------------|-----|------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------------|
| 2011 | 3 | | | 3 | | | |
| 2012 | 115 | | 7 (22.- 32.SSW) | 102 | 4 | | 2 |
| 2013 | 53 | | 3 (22.- 24.SSW) | 46 | 1 | | 3 |
| 2014 | 50 | 1(15+2SSW) | | 38 | | 4 | 2 |

Die 221 sonographischen Untersuchungen wurde in 185 Fällen von einem Assistenzarzt (83,7 %), der sich im 1. oder 2. Ausbildungsjahr befand, unter Supervision des für die geburtshilfliche Abteilung zuständigen anästhesiologischen Oberarztes, und in 27 Fällen von diesem selber durchgeführt. In 9 Fällen war in Andok[®] kein Narkoseprotokoll hinterlegt, so dass keine Aussage über den Untersucher gemacht werden kann.

Die Studienjahre 2012 und 2013 spiegeln jeweils die komplette jährliche Statistik wider. 2012 führten wir bei 23,6 % der unter Regionalanästhesie Gebärenden einen präinterventionellen Ultraschall durch, 2013 erfassten wir 10,2 % (Tab. 7).

Tab. 7: Anteil des präinterventionellen Ultraschalls vor Regionalanästhesie zur Geburt in 2012 und 2013

| Jahr | Geburten + Regionalanästhesie | | | | | | |
|------|----------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | gesamt | Sectiones in SPA | Sectiones in SPA + Sono | Sectiones in PDA | Sectiones in PDA + Sono | Geburtshilfl. PDA | Geburtshilfl. PDA + Sono |
| 2012 | 1037 | 522 | 102 (19,5%) | 112 | 4 (3,6%) | 399 | 2 (0,5%) |
| 2013 | 1003 | 522 | 46 (8,8%) | 94 | 1 (1,1%) | 382 | 3 (0,3%) |

21 der 221 Patientinnen wurden vor der statistischen Auswertung ausgeschlossen, da die Ultraschallaufnahmen nicht den Anforderungen der Studie entsprachen. In 17 Fällen wurde lediglich die Aufnahme mit dem sonographisch dargestellten Processus spinosus gespeichert und der Schalkopf nicht wie vorgegeben nach kranial geführt, um den Inter-spinalraum darzustellen. In 2 Fällen wurde die lumbale Wirbelsäule auf Punktionshöhe in paramedianer anstatt wie vereinbart in transversaler Schallebene dargestellt. In einem Fall war die Eindringtiefe auf 4 cm eingestellt und somit die gewünschten anatomischen Strukturen, die erfahrungsgemäß tiefer liegen, im Bild nicht dargestellt. In einem Fall war das sonographische Bild unter zwei Patientennamen gespeichert und somit nicht eindeutig einer schwangeren Patientin zuzuordnen.

3.3 Deskriptive Statistik

3.3.1 Einflussgrößen

Die Einflussgrößen (= erklärenden Variablen) der statistischen Auswertung sind das Alter, die Körpergröße, die Schwangerschaftswoche und der BMI vor Schwangerschaft, der nach WHO in 6 Gewichtskategorien (Tab. 2) eingeteilt wird.

Wie in Tabelle 8 dargestellt, betrug das Durchschnittsalter der schwangeren Patientinnen (n = 197) 33 Jahre (32,85 +/- 5,38 Jahre).

Tab. 8: deskriptive Statistik zum Alter (Jahre) der schwangeren Studienpatientinnen

| Einflussgröße | n | Mittelwert | Std.- Abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|----------------------|----------|-------------------|-----------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Alter | 197 | 32,85 | 5,376 | 33,00 | 18 | 49 |

Die Altersverteilung des gebärfähigen Patientenlientels folgt annähernd der Gaußschen Verteilungskurve, die durch einen 2. Peak, der bei 39 Jahren liegt, unterbrochen wird. 18 Patientinnen, das entspricht 9 %, waren zum Zeitpunkt der Intervention 39 Jahre alt (Abb. 10).

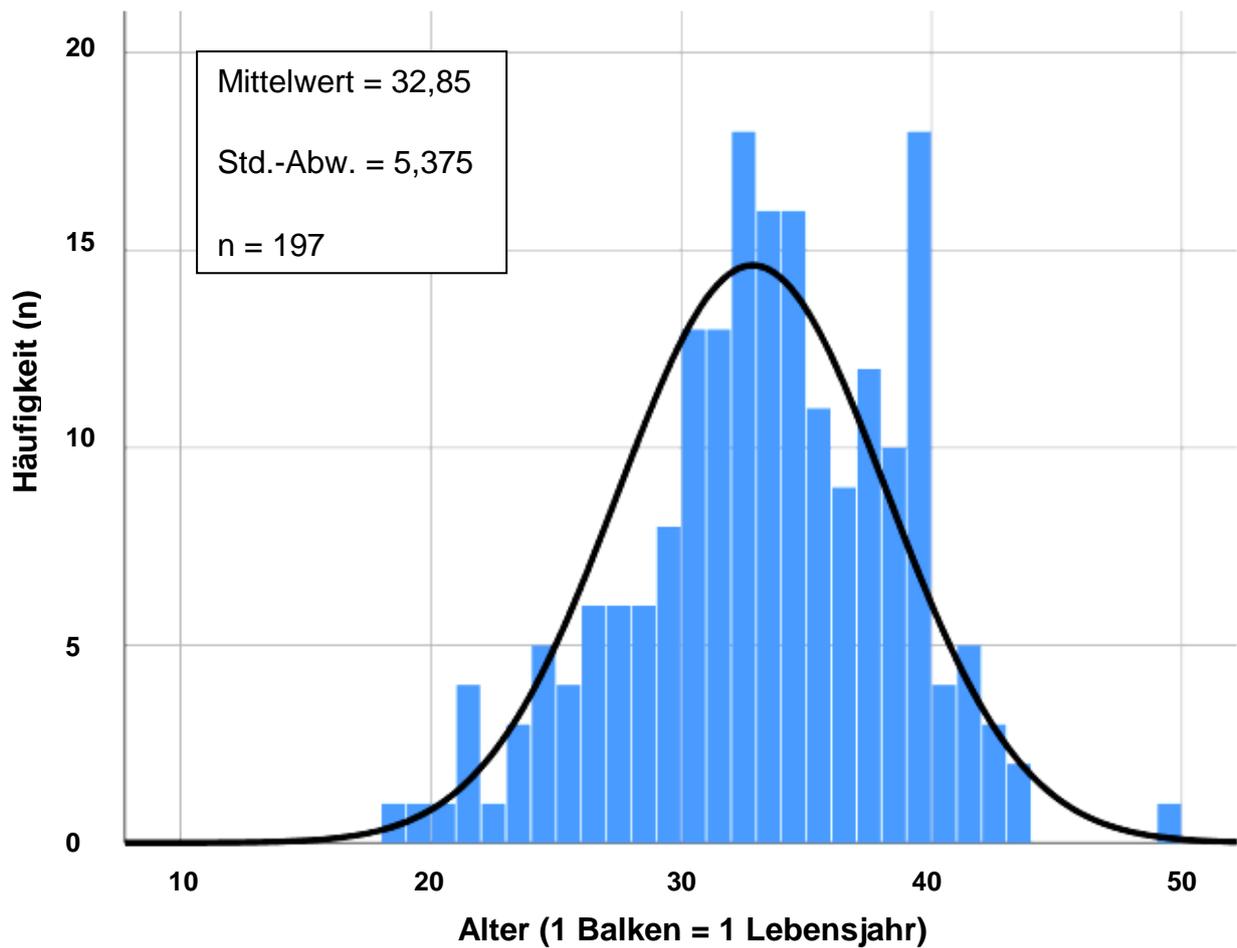


Abb. 10: Histogramm zur Altersverteilung (Jahre) der schwangeren Patientinnen

Die durchschnittliche Körpergröße (n = 197) des schwangeren Patientenlientels lag bei 167 cm (167,05 +/- 6,46 cm) (Tab. 9, Abb. 11).

Tab. 9: deskriptive Statistik zur Körpergröße (cm) der schwangeren Studienpatientinnen

| Einflussgröße | n | Mittelwert | Std.- abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|---------------|-----|------------|---------------------|--------|---------|---------|
| Körpergröße | 197 | 167,05 | 6,457 | 168,00 | 146 | 187 |

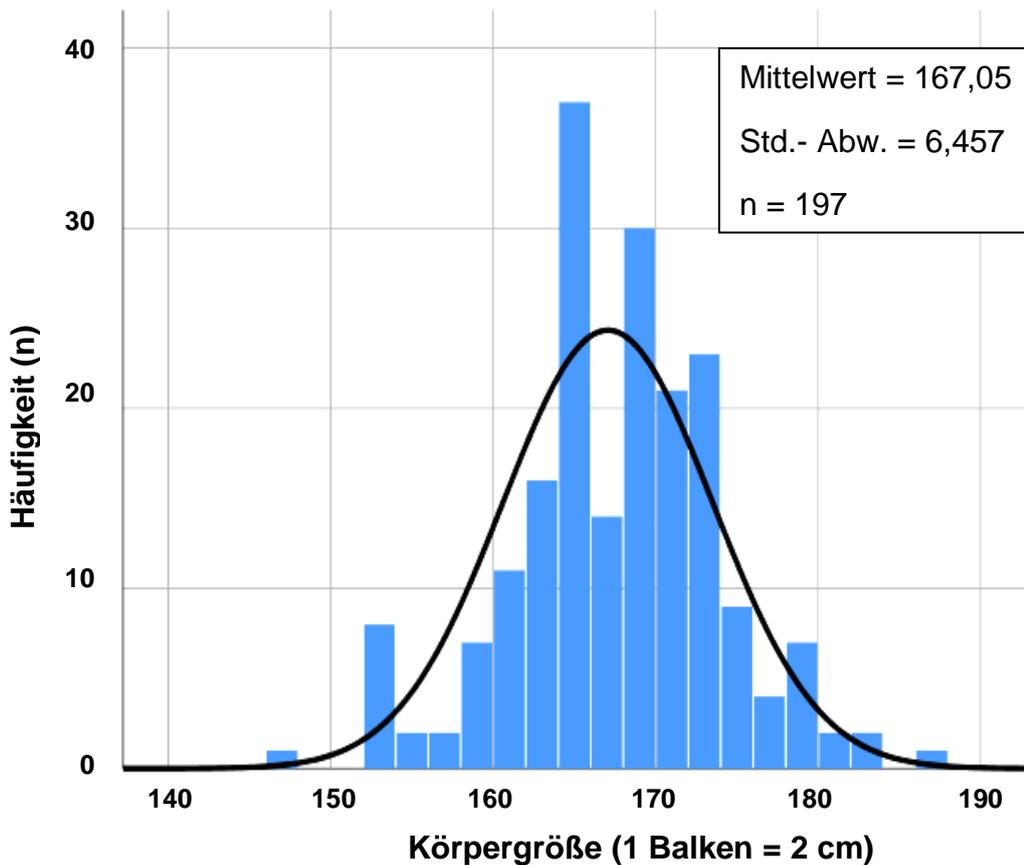


Abb. 11: Histogramm zur Verteilung der Körpergröße (cm) der schwangeren Patientinnen

91% der schwangeren Patientinnen ($n = 195$), die präinterventionell sonographiert wurden, befanden sich im letzten Trimenon (27. bis 40. Woche) der Schwangerschaft. 147 Patientinnen befanden sich nach Definition der Deutschen Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe (DGGG, 2021) im Zeitfenster einer Termin-/ Reifgeburt (37+0 bis 41+6 SSW), was einem Anteil von 75 % entspricht. Der Peak in der 39. SSW wird durch 66 Patientinnen (33 %) geformt (Abb. 12).

Der Mittelwert ($n = 195$) lag bei 37 +/- 4 SSW (Tab. 10).

Tab. 10: deskriptive Statistik für die Schwangerschaftswoche (Woche) der Studienpatientinnen

| Einflussgröße | n | Mittelwert | Std.- Abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|---------------|-----|------------|---------------------|--------|---------|---------|
| SSW | 195 | 36,98 | 3,923 | 38,00 | 16 | 42 |

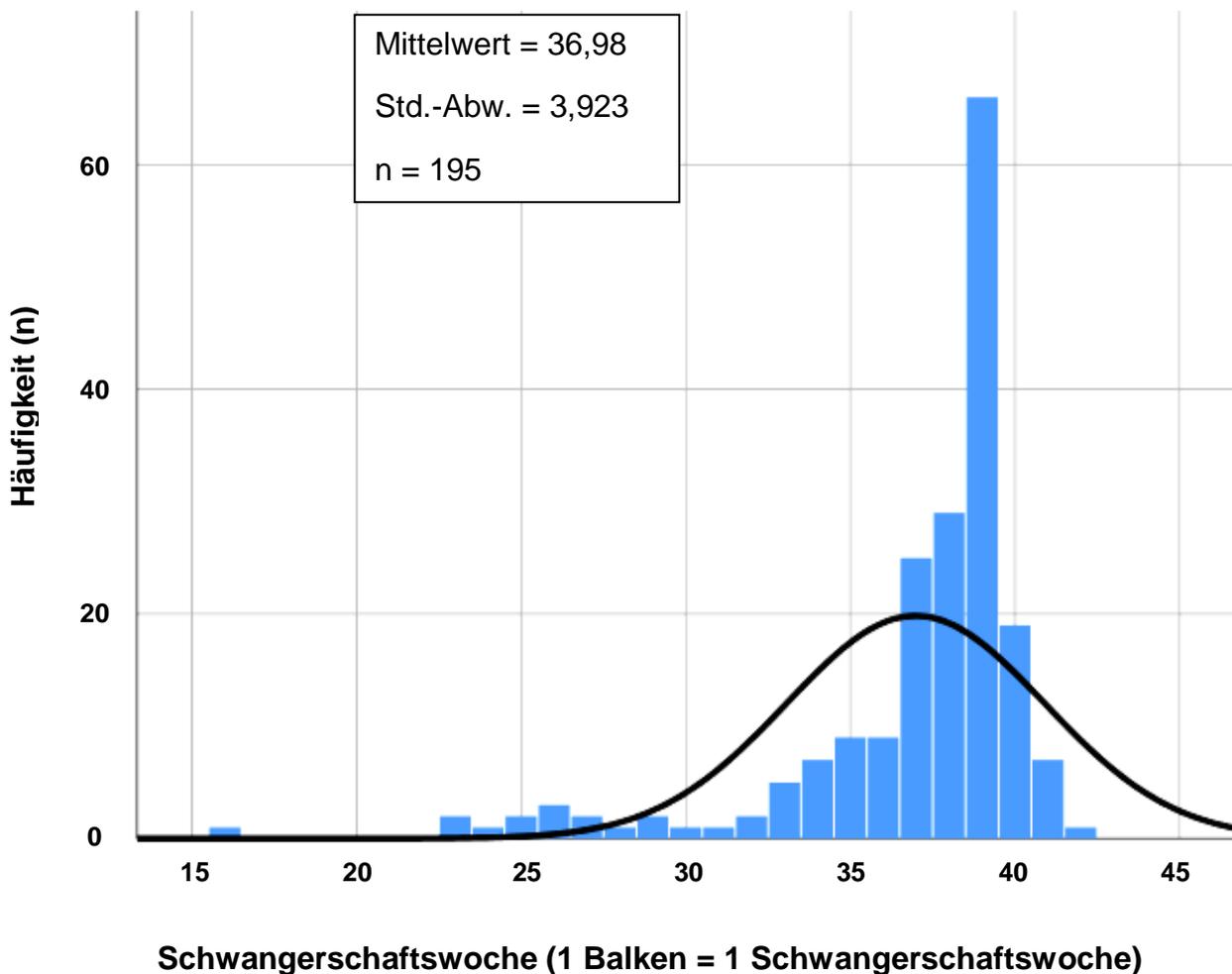


Abb. 12: Histogramm zur Verteilung der Schwangerschaftswoche (Woche) der Studienpatientinnen

Wie in Tabelle 11 dargestellt, lag der durchschnittliche Body-Mass-Index vor Schwangerschaft ($n = 196$) bei unseren Studienpatientinnen bei $25,2 \text{ kg/m}^2$ ($25,163 \pm 5,27 \text{ kg/m}^2$).

Der Hauptanteil mit $55,1 \%$ des schwangeren Patientenlientels war vor der Schwangerschaft normgewichtig (BMI-Gruppe 2). Mit ihrem Gewicht vor der Schwangerschaft bezogen auf die Körperoberfläche fielen nach der Adipositas-Nomenklatur der WHO (Tab. 2) $9,7 \%$ der Patientinnen in die BMI-Gruppe 4 (Adipositas Kategorie Grad I), $4,6 \%$ in die BMI-Gruppe 5 (Adipositas Kategorie Grad II) und $1,5 \%$ waren der BMI-Gruppe

6 (Adipositas Kategorie Grad III) zuzuordnen. 3,6 % der Patientinnen waren untergewichtig (BMI-Gruppe 1), 25,5 % waren mit ihrem Gewicht bezogen auf die Körperoberfläche der BMI-Gruppe 3 (Übergewicht/Präadipositas) zuzuordnen. Die schlankste Patientin hatte einen BMI vor Schwangerschaft von $15,8 \text{ kg/m}^2$, die korpulenteste einen von $48,0 \text{ kg/m}^2$ (Tab. 11 u.12). Abbildung 13 stellt die Häufigkeitsverteilung des Studienklientels auf die BMI-Gruppen 1 bis 6 nach Fällen dar.

Tab. 11: Mittelwerte der vier gewichtsbezogenen Einflussgrößen mit ihren Standardabweichungen sowie Minimum und Maximum und der sich daraus ergebenden Varianz. Die Ergebnisse für den BMI vor Schwangerschaft (kg/m^2), der die Haupteinflussgröße bezogen auf das Körpergewicht (kg) darstellt, sind blau hinterlegt.

| | n | Mittelwert | Std.-Abweichung | Varianz | Minimum | Maximum | Spannweite |
|----------------------|-----|------------|-----------------|---------|---------|---------|------------|
| Gewicht vor SS | 196 | 70,247 | 15,9906 | 255,700 | 40,0 | 142,0 | 102,0 |
| BMI vor SS | 196 | 25,163 | 5,2659 | 27,729 | 15,8 | 48,0 | 32,2 |
| Gewicht bei Eingriff | 195 | 82,726 | 16,2538 | 264,186 | 48,0 | 150,0 | 102,0 |
| BMI bei Eingriff | 195 | 29,601 | 5,2837 | 27,917 | 16,1 | 50,1 | 34,0 |

Tab. 12: Häufigkeitsverteilung (in Fällen und %) der BMI-Gruppen bezogen auf den BMI vor Schwangerschaft (kg/m^2) nach WHO-Einteilung für die Studienpatientinnen

| BMI-Gruppe | Häufigkeit (n) | Prozent (%) |
|---|----------------|-------------|
| 1 = Untergewicht ($< 18,5 \text{ kg/m}^2$) | 7 | 3,57 |
| 2 = Normalgewicht ($18,5 - 24,9 \text{ kg/m}^2$) | 108 | 55,10 |
| 3 = Präadipositas ($25 - 29,9 \text{ kg/m}^2$) | 50 | 25,51 |
| 4 = Adipositas Grad I ($30 - 34,9 \text{ kg/m}^2$) | 19 | 9,69 |
| 5 = Adipositas Grad II ($35 - 39,9 \text{ kg/m}^2$) | 9 | 4,59 |
| 6 = Adipositas Grad III ($\geq 40 \text{ kg/m}^2$) | 3 | 1,53 |

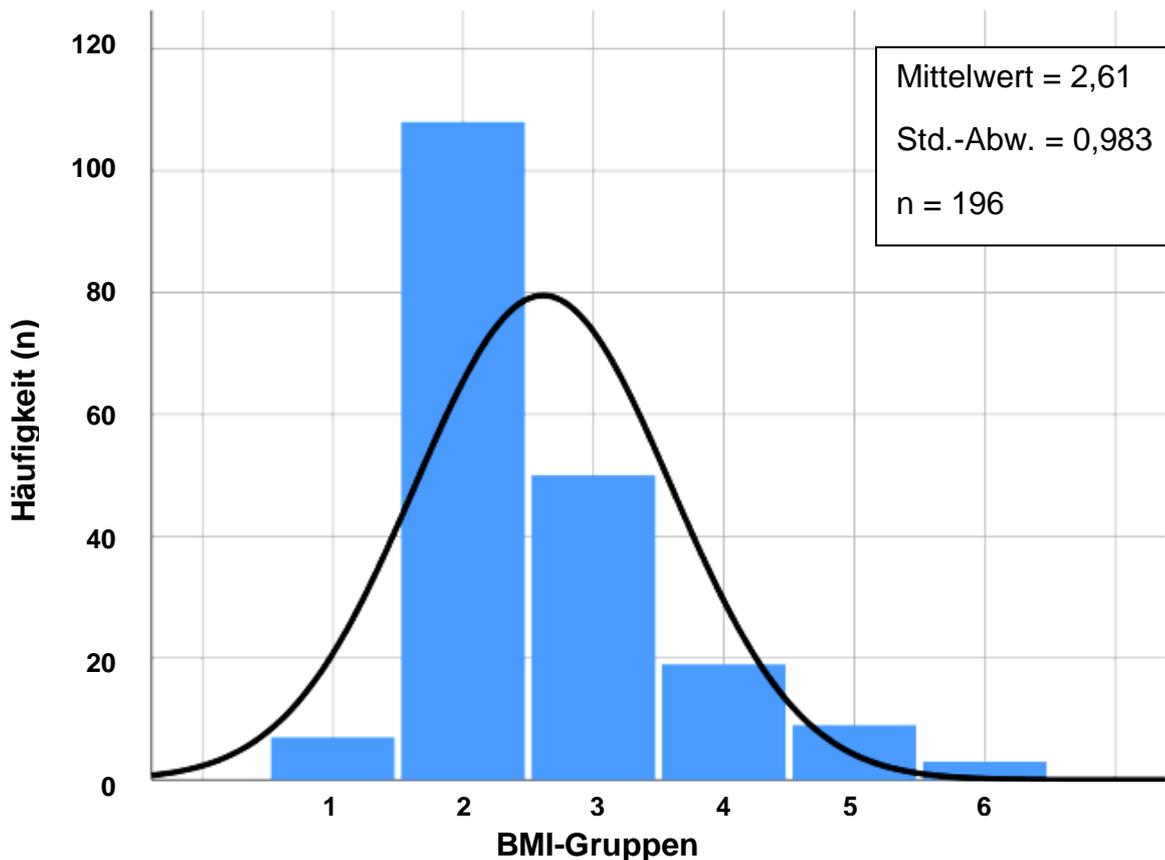


Abb. 13: Histogramm zur Häufigkeitsverteilung des BMI vor Schwangerschaft nach WHO-Einteilung in Gruppe 1 bis 6 für die Studienpatientinnen

Das Körpergewicht vor der Schwangerschaft ($n = 196$) lag durchschnittlich bei 70 kg ($70,247 \pm 15,99$ kg). Das geringste Körpergewicht wurde mit 40 kg, das maximalste mit 142 kg angegeben. Der durchschnittliche BMI zum Zeitpunkt der Intervention ($n = 195$) (Fetoskopie, Cerclage, Sectio oder Spontanpartus) lag bei $29,6 \text{ kg/m}^2$ ($29,601 \pm 5,28 \text{ kg/m}^2$). Das Körpergewicht bei Intervention ($n = 195$) belief sich auf durchschnittlich 83 kg ($82,726 \pm 16,25$ kg) (Tab.11).

Stellt man unsere Durchschnittswerte der Hauptaltersgruppe zwischen 20 und 45 Jahren ($n = 193$) den 2018 vom Statistischen Bundesamt an 7.304.000 Frauen entsprechender Altersgruppen ermittelten Größen gegenüber, differieren die Angaben zur Größe um maximal 2 cm (Tab.13). Unsere Stichprobe ($n = 193$) ist mit einem Durchschnittsgewicht von 70,5 kg um 4 kg schwerer als das vom statistischen Bundesamt ermittelte durchschnittliche Gewicht von 66,4 kg. So liegt auch der BMI unserer Stichprobe der 20 bis 45 Jährigen mit durchschnittlich $25,1 \text{ kg/m}^2$ (Kategorie Präadipositas) deutlich

höher als der der Vergleichsgruppe vom statistischen Bundesamt mit 23,7 kg/m² (Kategorie Normalgewicht).

Tab. 13: Altersabhängige Verteilung von Größe (m), Gewicht (kg) und BMI (kg/m²) unseres Patientenkollektivs im Vergleich zu Ergebnissen des Mikrozensus 2017 des Statistischen Bundesamtes. Die Hauptaltersgruppe zwischen 20 und 45 Jahren des Statistischen Bundesamtes und der Studienpatientinnen ist blau markiert.

| Alter von...bis unter... Jahren | Frauen ¹ | | durchschnittliche Körpergröße | durchschnittliches Körpergewicht | durchschnittlicher Body-Mass-Index | davon mit einem Body-Mass-Index..... | | | | |
|--|---------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------|------------------|-----|
| | insgesamt | mit Angaben zu Körpergröße und Körpergewicht | | | | < 18,5 | von 18,5 bis 25 | von 25 bis 30 | von 30 bis 40 | >40 |
| Statistisches Bundesamt | in 1000 | | m | kg | kg/m ² | % ² | | | | |
| 18-20 | 799 | 444 | 1,68 | 61,4 | 21,9 | 12,2 | 73,2 | 11,3 | 3,2 | 0,2 |
| 20-25 | 2090 | 1232 | 1,68 | 63,0 | 22,5 | 8,4 | 73,0 | 13,6 | 4,6 | 0,2 |
| 25-30 | 2520 | 1515 | 1,67 | 65,4 | 23,4 | 6,0 | 67,7 | 18,3 | 7,3 | 0,8 |
| 30-35 | 2582 | 1574 | 1,67 | 67,0 | 24,0 | 4,4 | 64,6 | 20,8 | 9,0 | 1,1 |
| 35-40 | 2543 | 1534 | 1,67 | 67,9 | 24,3 | 3,6 | 62,8 | 22,8 | 9,6 | 1,2 |
| 40-45 | 2426 | 1449 | 1,67 | 68,7 | 24,6 | 3,0 | 59,9 | 24,8 | 11,0 | 1,2 |
| 45-50 | 3031 | 1806 | 1,67 | 69,4 | 24,8 | 2,7 | 57,8 | 26,8 | 11,4 | 1,3 |
| eigene Werte | 200 | 196 | | | | | | | | |
| 18-20 | | 2 | 1,58 | 63,3 | 25,3 | 0 | 50,0 | 0 | 50 | 0 |
| 20-25 | | 14 | 1,67 | 67,8 | 24,4 | 0 | 64,3 | 28,6 | 7,1 | 0 |
| 25-30 | | 30 | 1,68 | 70,9 | 25,0 | 10,0 | 50,0 | 26,7 | 10,0 | 3,3 |
| 30-35 | | 75 | 1,66 | 70,7 | 25,5 | 2,6 | 53,9 | 25,0 | 15,8 | 2,6 |
| 35-40 | | 60 | 1,68 | 69,3 | 24,9 | 5,0 | 56,7 | 25,0 | 13,3 | 0 |
| 40-45 | | 14 | 1,69 | 73,6 | 25,8 | 0 | 57,1 | 21,4 | 21,4 | 0 |
| 45-50 | | 1 | 1,70 | 76,0 | 26,3 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 |

Frauen¹: Hochrechnung ab 2013 anhand der Bevölkerungsfortschreibung auf Basis Zensus 2011

3.3.2 Zielgrößen

In 194 von den 200 transversalen Ultraschallaufnahmen, das entspricht 97 %, war der Spinalraum darstellbar (Abb. 14). Bei 5 Sonographiebildern ist der anteriore Komplex und bei einer Aufnahme der posteriore Komplex nicht abgrenzbar.

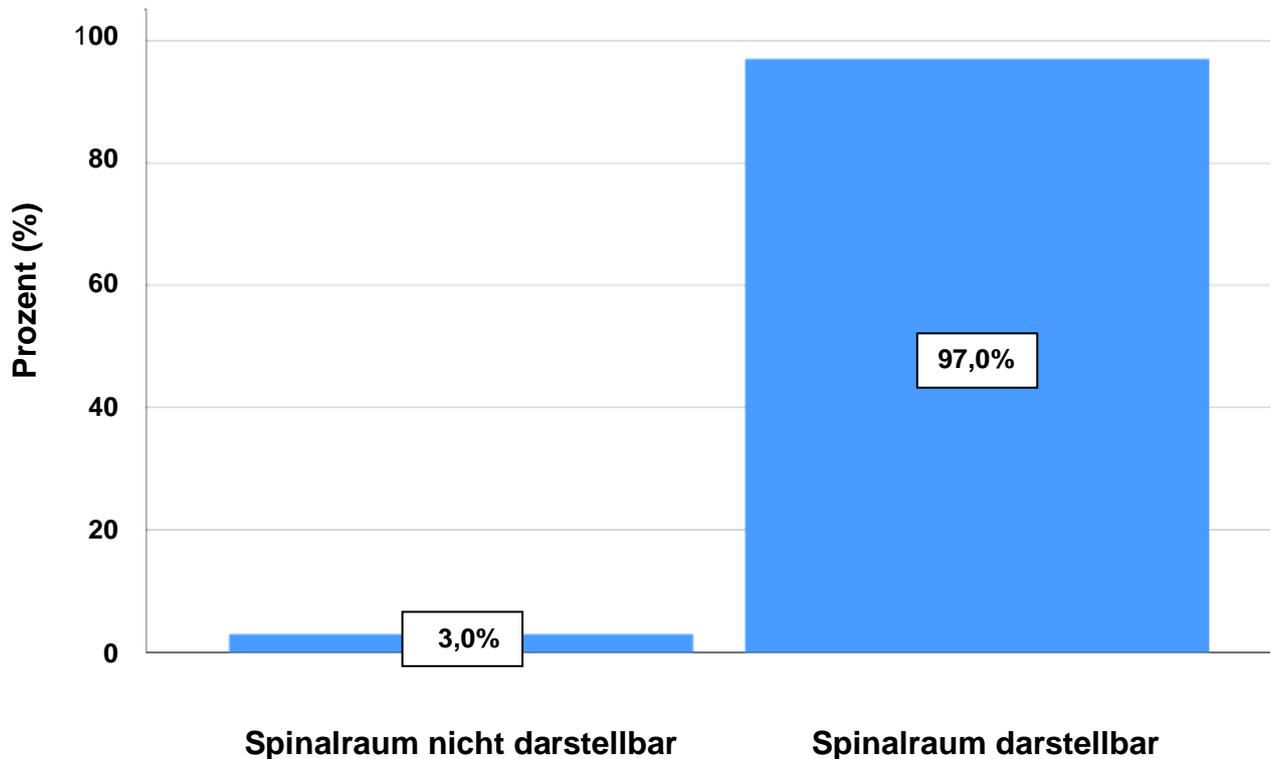


Abb. 14: sonographische Darstellbarkeit des Spinalraumes (%) im transversalen Ultraschall

Der lumbale Intraduralraum, in dem der Liquor cerebrospinalis fließt, war durchschnittlich ($n = 194$) 0,71 cm weit mit einer verhältnismäßig großen Standardabweichung von 0,22 cm (Tab. 14).

Tab. 14: deskriptive Statistik für den erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) im transversalen Ultraschall

| Zielgröße | n | Mittelwert | Std.- Abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|---------------------------|-----|------------|---------------------|--------|---------|---------|
| Durchmesser Spinalraum | 194 | 0,7059 | 0,21769 | 0,6700 | 0,30 | 1,61 |

Der Median lag bei 0,67 cm. Der minimalste Raum wurde mit 0,30 cm vermessen. Der maximalste Raumdurchmesser lag bei 1,61 cm und ist als Ausreißer (° 194) gekennzeichnet. Die Spannweite ist demnach weit mit 1,31 cm (Abb. 15).

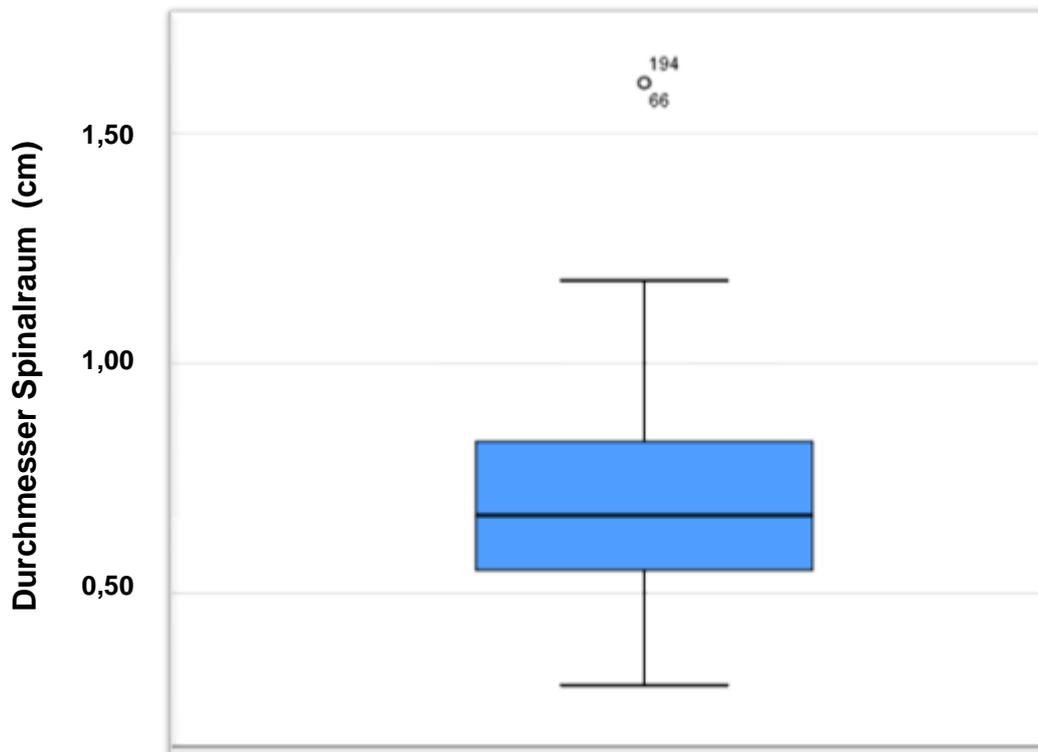


Abb. 15: Boxplot-Diagramm mit dem erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) im transversalen Ultraschall

Der Notendurchschnitt für die Darstellbarkeit des Froschzeichens im präinterventionelle Ultraschall (n = 200) lag bei 3,42 +/- 1,394 (Tab.15).

Tab. 15: deskriptive Statistik für die Note des Froschzeichens (Schulnoten)

| Zielgröße | n | Mittelwert | Std.-Abweichung | Note 1 = sehr gut | Note 2 = gut | Note 3 = befriedigend | Note 4 = ausreichend | Note 5 = mangelhaft | Note 6 = ungenügend |
|--------------------|-----|------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Note Froschzeichen | | 3,42 | 1,394 | 8,0% | 21,5% | 22,0% | 26,5% | 13,5% | 8,5% |
| Fälle | 200 | | | 16 | 43 | 44 | 53 | 27 | 17 |

Bis einschließlich der Note befriedigend lässt sich das Froschzeichen im Ultraschall gut wiedererkennen, d.h. dass 51,5 % (103) der 200 Aufnahmen das Froschzeichen in guter Qualität abgebildet haben (Abb. 16).

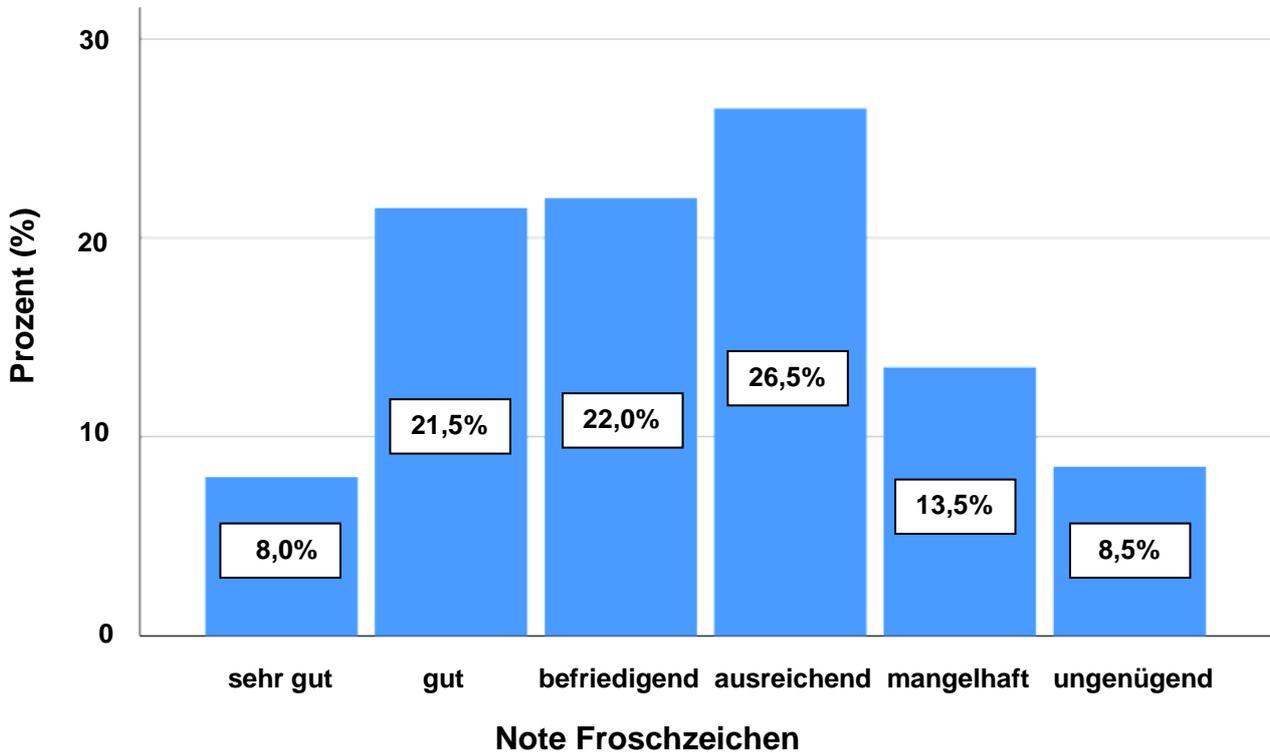


Abb. 16: Balkendiagramm zur Verteilung der Noten (Schulnoten) für die Darstellbarkeit des Froschzeichens (%) im transversalen Ultraschall. Bis einschließlich der Note befriedigend ist das Froschzeichen in guter Qualität abgebildet.

Die erwartete Tiefe des spinalen Punktionsraumes lag bei unseren schwangeren Patientinnen (n=200) durchschnittlich bei 5,58 cm mit einer geringen Standardabweichung von 0,65 cm (Tab. 16).

Tab. 16: deskriptive Statistik für die erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall

| Zielgröße | n | Mittelwert | Std-Abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|-----------------------|-----|------------|----------------|--------|---------|---------|
| Punktionstiefe SPA | 200 | 5,5768 | 0,65296 | 5,4600 | 4,22 | 7,37 |

Der Median im Boxplot-Diagramm lag bei 5,46 cm. Der kleinste Wert wurde mit 4,22 cm vermessen, der tiefste mit 7,37 cm mit einer Spannweite von 3,15 cm (Tab. 16). Die blaue Box stellt die mittleren 50 % der Daten dar (Abb. 17).

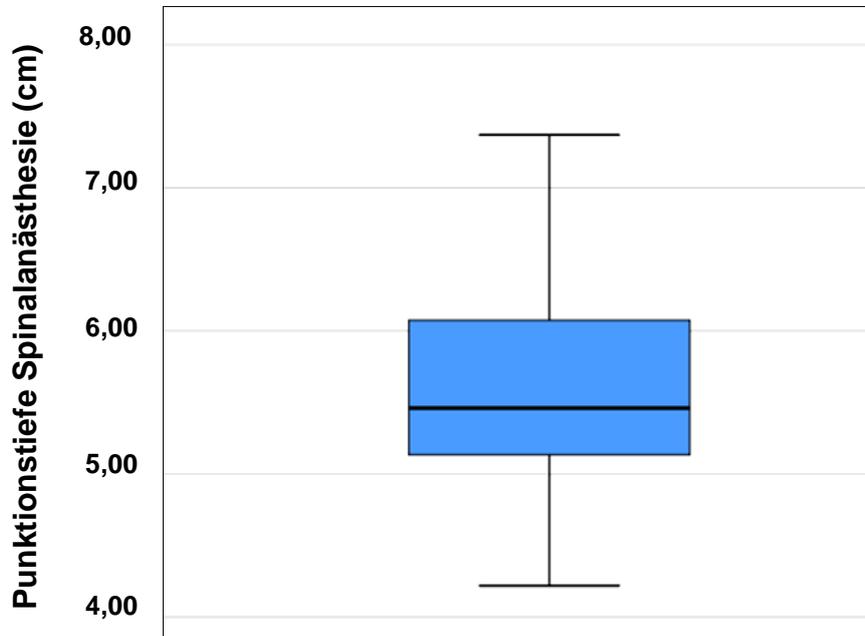


Abb. 17: Boxplot-Diagramm mit der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall

Die erwartete Tiefe des lumbalen Periduralraumes lag durchschnittlich ($n = 199$) bei 5,17 cm mit einer geringen Standardabweichung von 0,66 cm (Tab.17).

Tab. 17: deskriptive Statistik für die erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall

| Zielgröße | n | Mittelwert | Std.- Abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|-----------------------|-----|------------|---------------------|--------|---------|---------|
| Punktionstiefe PDA | 199 | 5,1656 | 0,65503 | 5,0500 | 3,75 | 6,93 |

Der Median im Boxplot-Diagramm lag bei 5,05 cm. Die minimalste Tiefe wurde mit 3,75 cm vermessen. Der Periduralraum mindestens einer Patientin war 6,93 cm tief, was eine Spannweite von 3,18 cm ergibt (Tab.17, Abb.18).

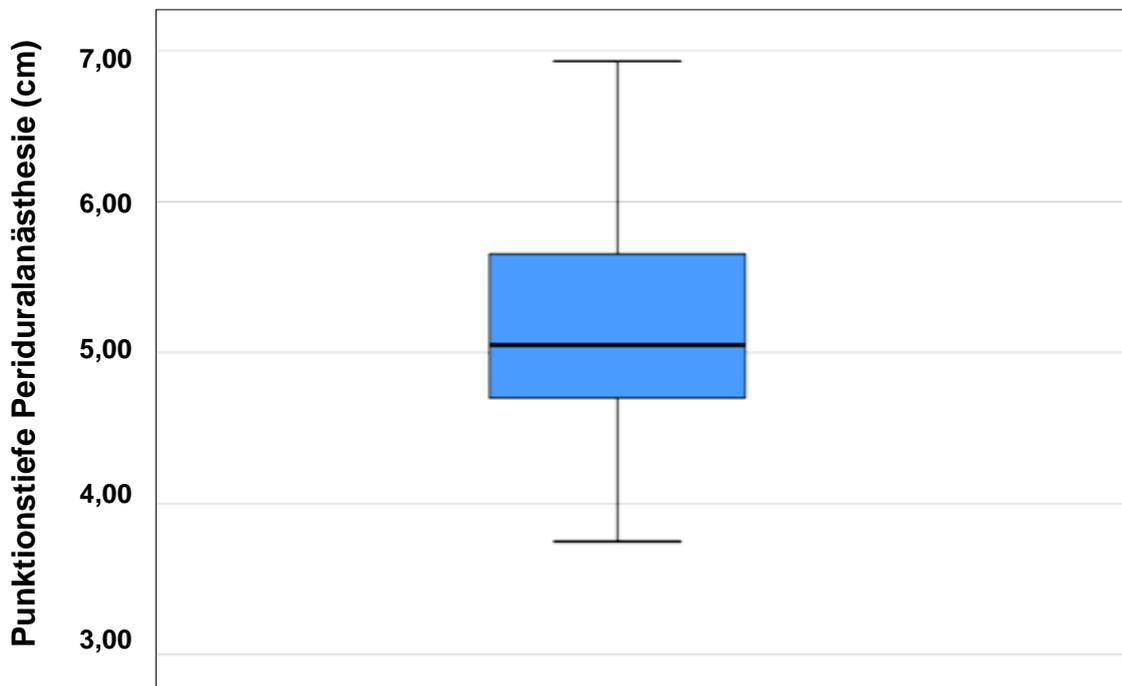


Abb. 18: Boxplot-Diagramm mit der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall

Die Dicke des posterioren Komplexes (n=199) lag im Durchschnitt bei 0,42 cm mit einer großen Streubreite von 0,11 cm (Tab. 18).

Tab. 18: deskriptive Statistik für die erwartete Dicke des posterioren Komplexes (cm) im transversalen Ultraschall

| Zielgröße | n | Mittelwert | Std.- Abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|---------------------------------|-----|------------|---------------------|--------|---------|---------|
| Dicke posteriorer Komplex | 199 | 0,4165 | 0,11417 | 0,4100 | 0,15 | 0,82 |

Der Median lag bei 0,41 cm. Der dünnste Komplex maß 0,15 cm. Der dickste Komplex mit 0,82 cm ist im Diagramm als Ausreißer (°22) markiert. Die Spannweite war mit 0,67 cm entsprechend weit (Abb.19).

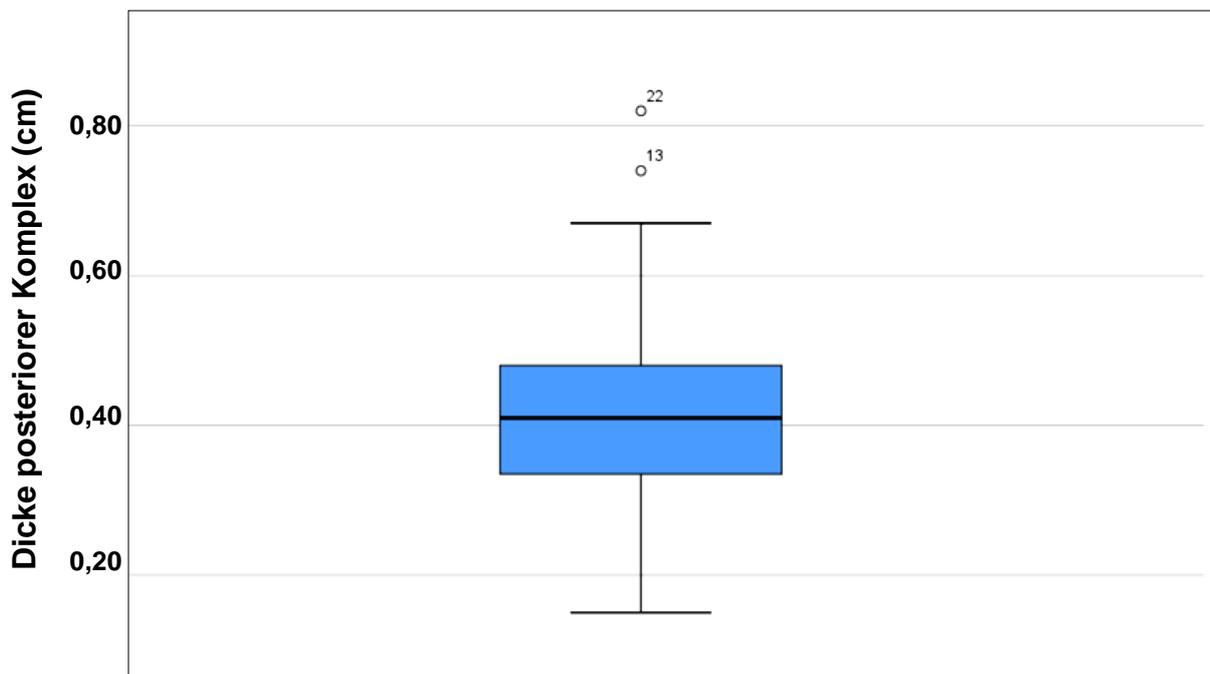


Abb. 19: Boxplot-Diagramm mit der erwarteten Dicke des posterioren Komplexes (cm) im transversalen Ultraschall

3.3.3 Einfluss von Alter, Körpergröße, Schwangerschaftswoche und Body-Mass-Index auf die Zielgrößen

Zur besseren Übersicht wird zunächst die Zielgröße "Erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie" den Einflussgrößen Alter, Körpergröße, Schwangerschaftswoche und Body-Mass-Index vor Schwangerschaft jeweils einzeln in einem Boxplot-Diagramm gegenübergestellt (Abb. 20 - 23).

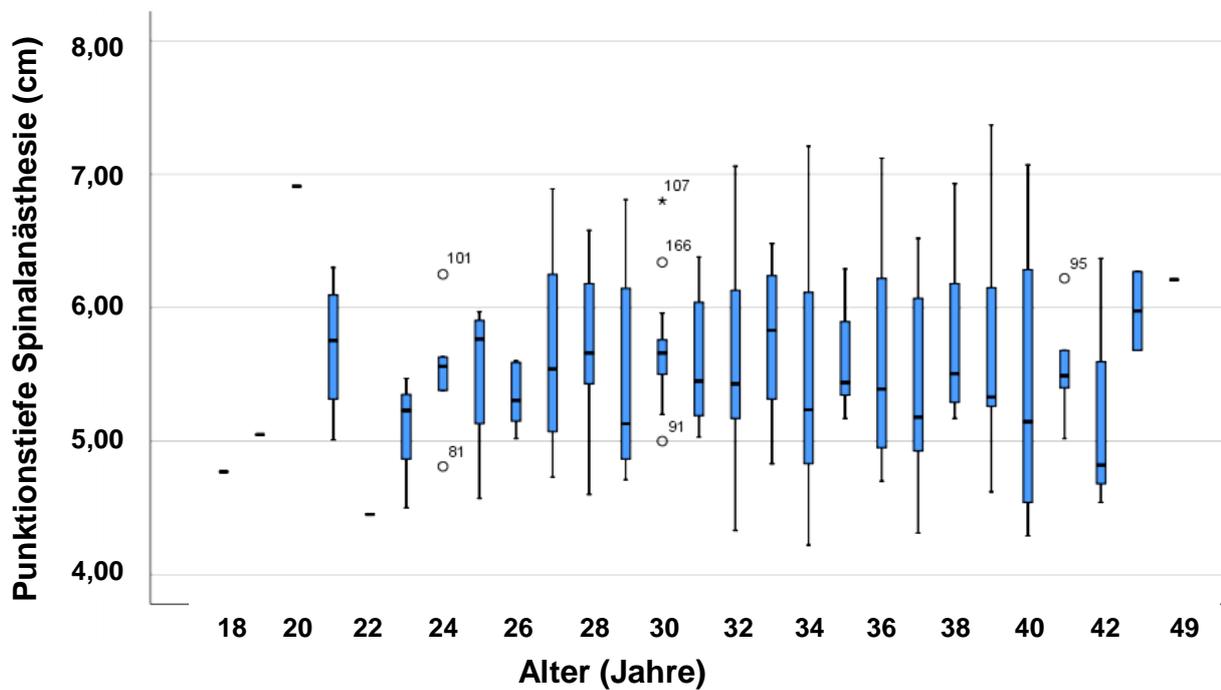


Abb. 20: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre)

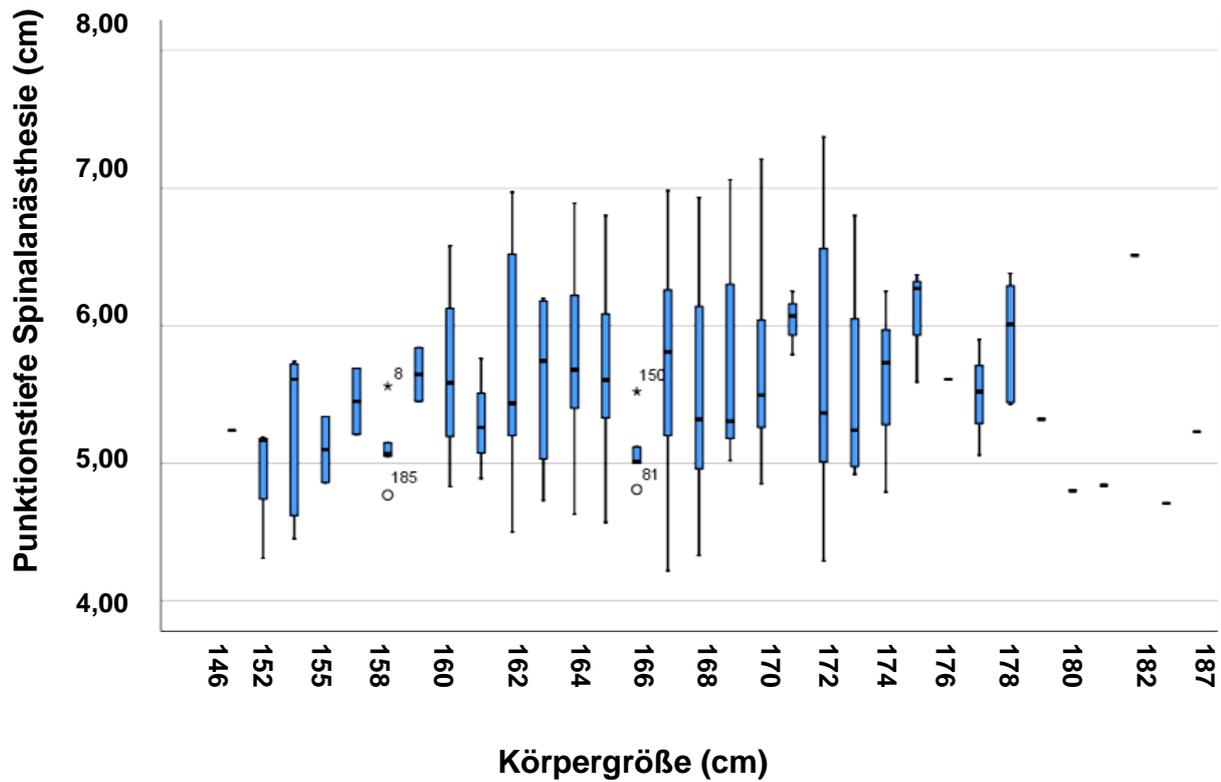


Abb. 21: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm)

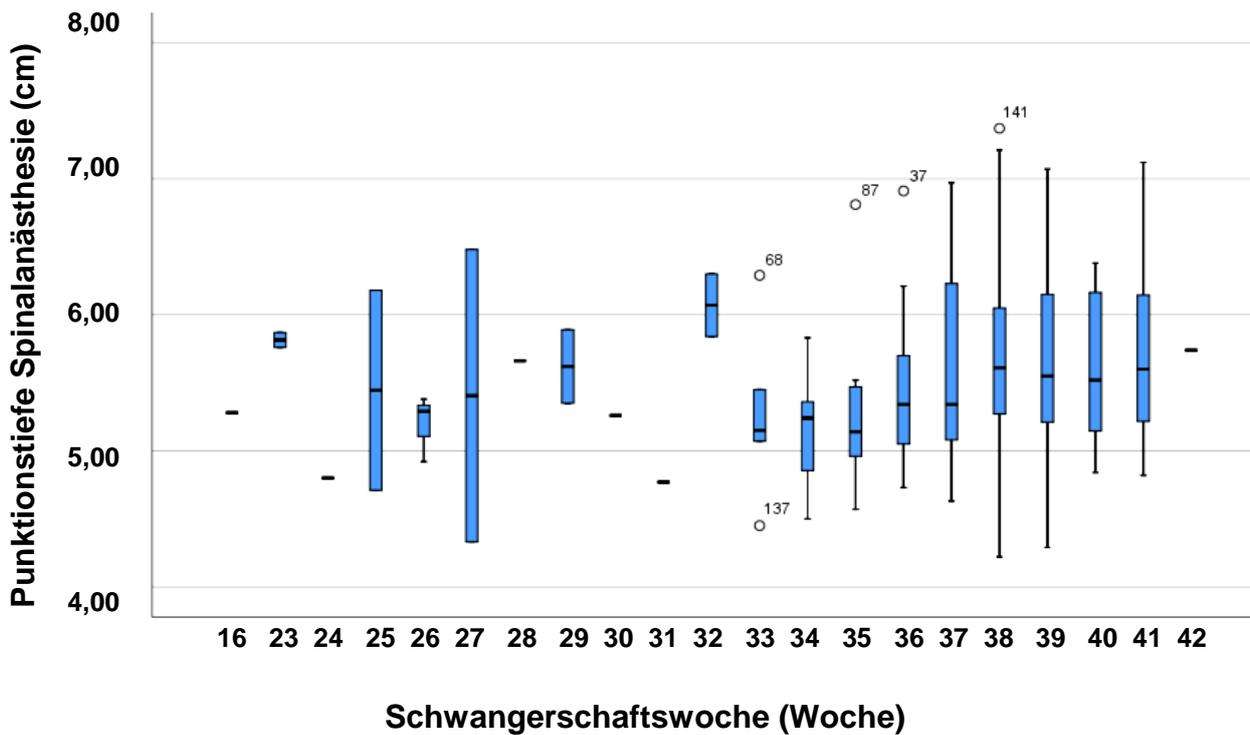


Abb. 22: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche)

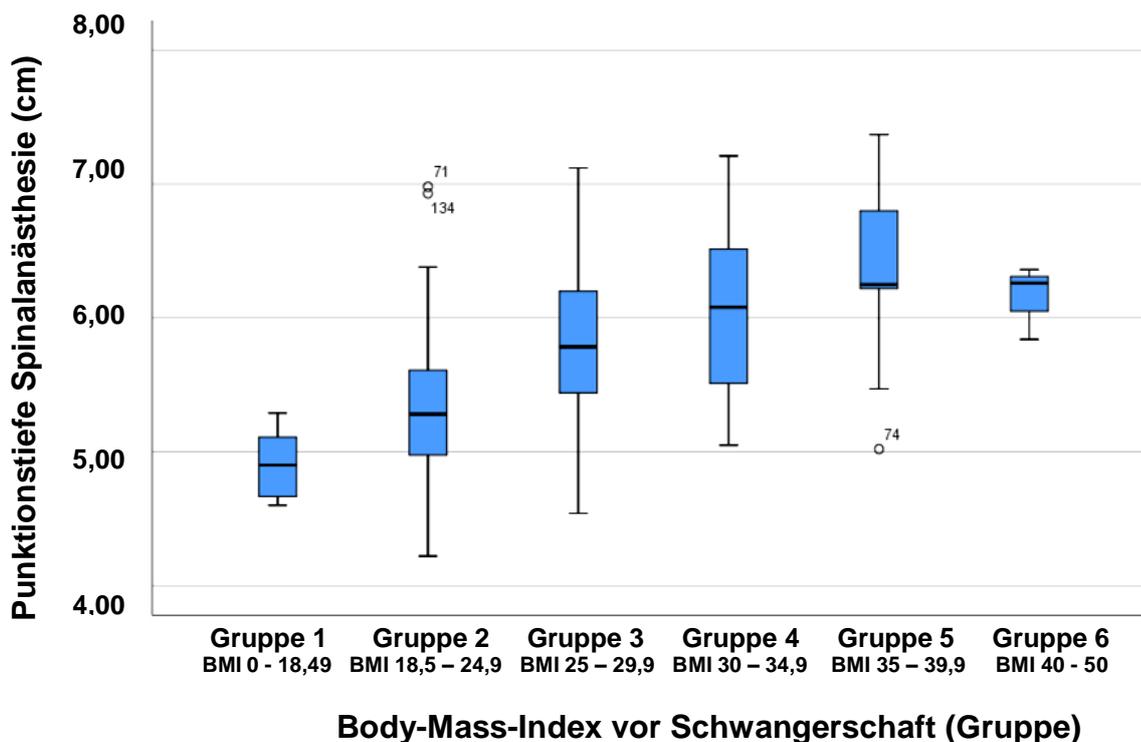


Abb. 23: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe)

Die Boxplot-Diagramme der Abbildungen 20 und 21 lassen keinen linearen Zusammenhang zwischen der Zielgröße "Erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie" und den Einflussgrößen Alter und Körpergröße erkennen.

In Abbildung 22 deutet sich ein linearer Zusammenhang zwischen der spinalen Punktionstiefe und der Schwangerschaftswoche an.

Die Abbildung 23 lässt einen linearen Zusammenhang zwischen dem Body-Mass-Index und der Tiefe des spinalen Punktionsraums erkennen. Bei der Hälfte der Patientinnen der 1. BMI-Gruppe ($n = 7$) ist der Spinalraum nach weniger als 4,90 cm zu erreichen, bei der anderen Hälfte liegt der Spinalraum tiefer als 4,90 cm. Der Median für die 2. BMI-Gruppe ($n = 108$) liegt bei 5,28 cm mit einer Spannweite von 2,76 cm. Der Median der BMI-Gruppe 3 ($n = 50$) liegt bei 5,79 cm mit einer Spannweite von 2,58 cm. Bei Gruppe 4 ($n = 19$) liegt er bei 6,08 cm mit einem Minimum von 5,05 cm und einem Maximum von 7,21 cm. Der Median der Gruppe 5 ($n = 9$) beträgt 6,25 cm mit einem Minimum von 5,02 cm, das als Ausreißer ($\circ 74$) markiert ist und einem Maximum von 7,37 cm. Der Median

der Gruppe 6 (n = 3) liegt bei nur 6,36 cm mit einer geringen Spannbreite von 0,52 cm (Tab. 19).

Tab. 19: Werte der deskriptiven Statistik für die erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe)

| Zielgröße | Einflussgröße | n | Mittelwert | Std.-Abweichung | Median | Minimum | Maximum | Spannweite |
|--------------------------------------|---------------|-----|------------|-----------------|--------|---------|---------|------------|
| Punktionstiefe Spinalanästhesie (cm) | BMI Gruppe 1 | 7 | 4,9057 | 0,28745 | 4,9000 | 4,60 | 5,29 | 0,69 |
| | BMI Gruppe 2 | 108 | 5,3419 | 0,55158 | 5,2800 | 4,22 | 6,98 | 2,76 |
| | BMI Gruppe 3 | 50 | 5,8538 | 0,56997 | 5,7850 | 4,54 | 7,12 | 2,58 |
| | BMI Gruppe 4 | 19 | 6,0389 | 0,64894 | 6,0800 | 5,05 | 7,21 | 2,16 |
| | BMI Gruppe 5 | 9 | 6,3256 | 0,73850 | 6,2500 | 5,02 | 7,37 | 2,35 |
| | BMI Gruppe 6 | 3 | 6,1533 | 0,27592 | 6,3600 | 5,84 | 6,36 | 0,52 |

Nach Pearson korreliert der BMI vor Schwangerschaft stark positiv, signifikant mit der Tiefe des spinalen Punktionsraumes, $r = 0,497$, $p < 0,001$.

Auch die Schwangerschaftswoche scheint in einem schwach positiven, signifikanten Zusammenhang zur spinalen Punktionstiefe zu stehen, $r = 0,143$, $p < 0,05$. Alter und Körpergröße zeigen keine lineare Beziehung zur Zielgröße (Tab. 20).

Tab. 20: Pearson-Korrelation (r = Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p -Wert) für die erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall

| Punktionstiefe Spinalanästhesie (cm) | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|--------|
| Einflussgröße | | r | p-Wert |
| Alter | (Jahre) | 0,068 | 0,341 |
| Größe | (cm) | 0,121 | 0,090 |
| SSW | (Woche) | 0,143* | 0,046 |
| BMI vor SS | (Gruppe) | 0,497*** | 0,000 |

*** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Um einen visuellen Eindruck von möglichen Zusammenhängen zwischen der Zielgröße "Erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie" und den Einflussfaktoren zu bekommen, werden diese zunächst in Boxplot-Diagrammen einander gegenübergestellt (Abb. 24 - 27).

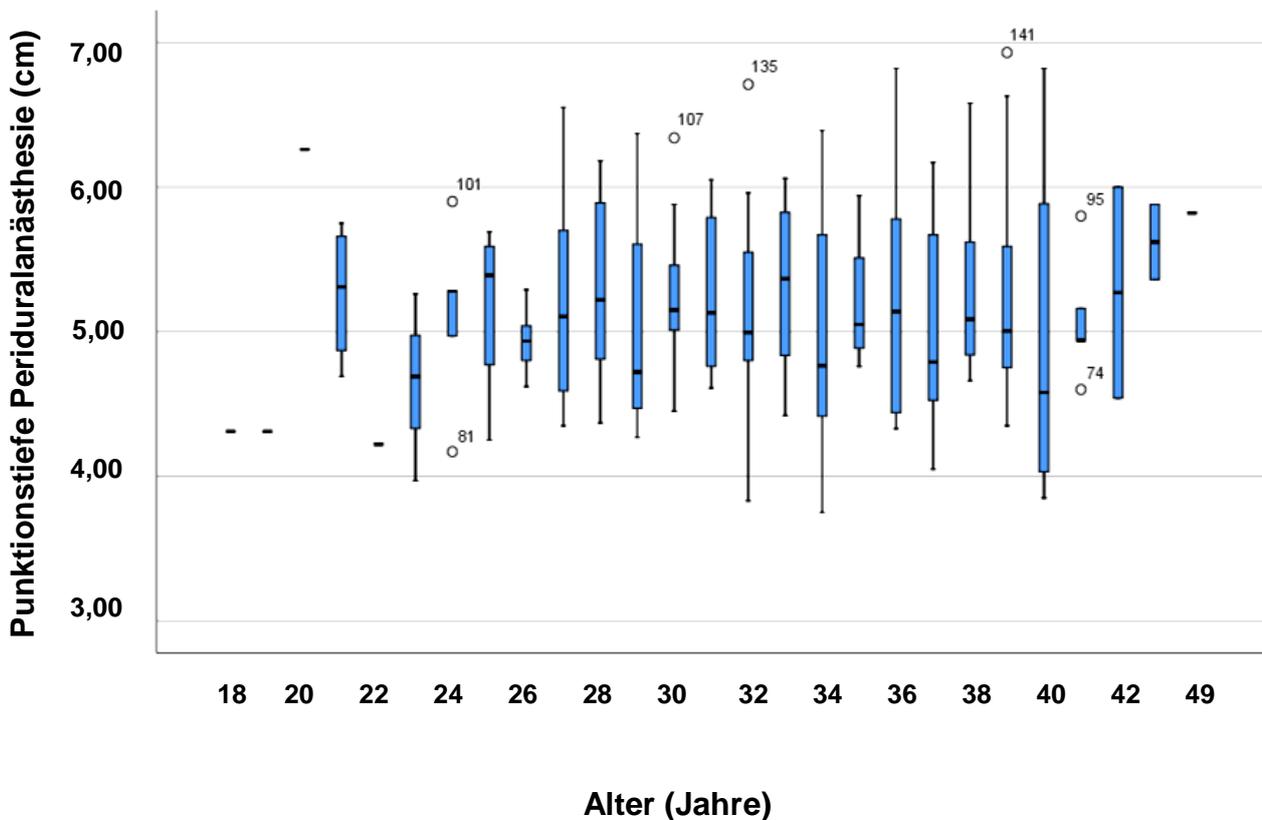


Abb. 24: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre)

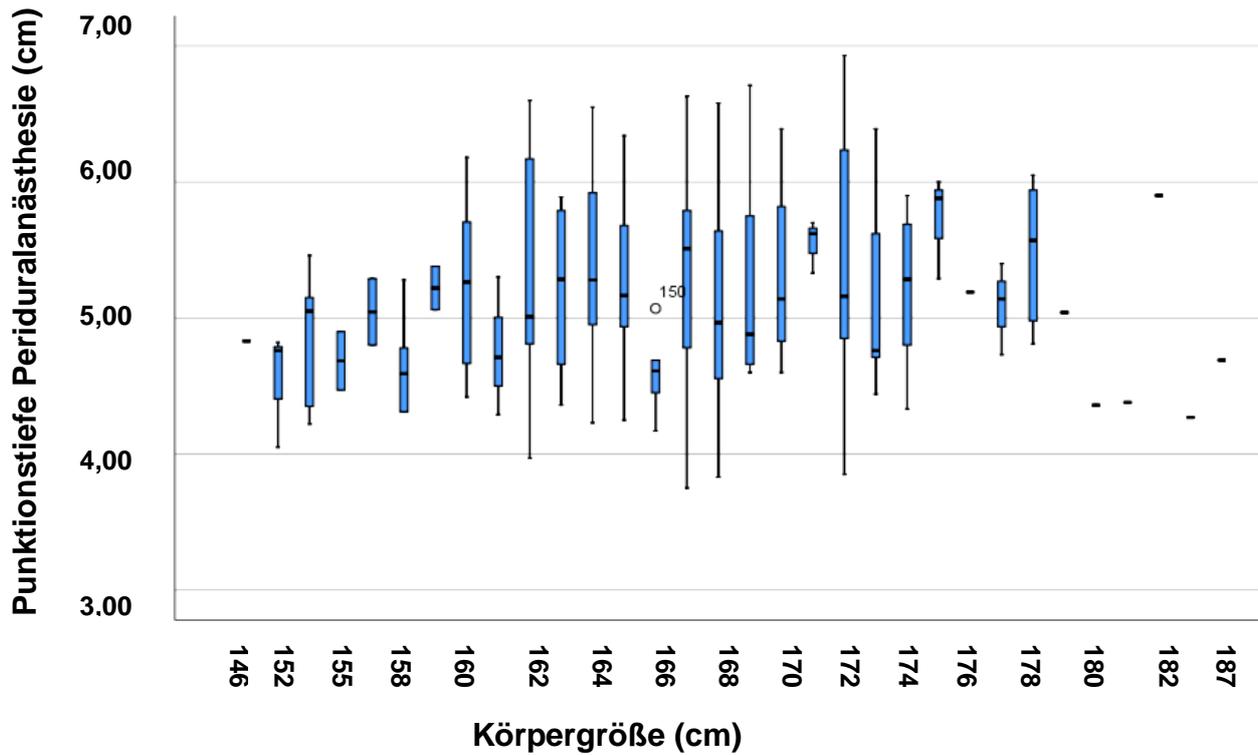


Abb. 25: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm)

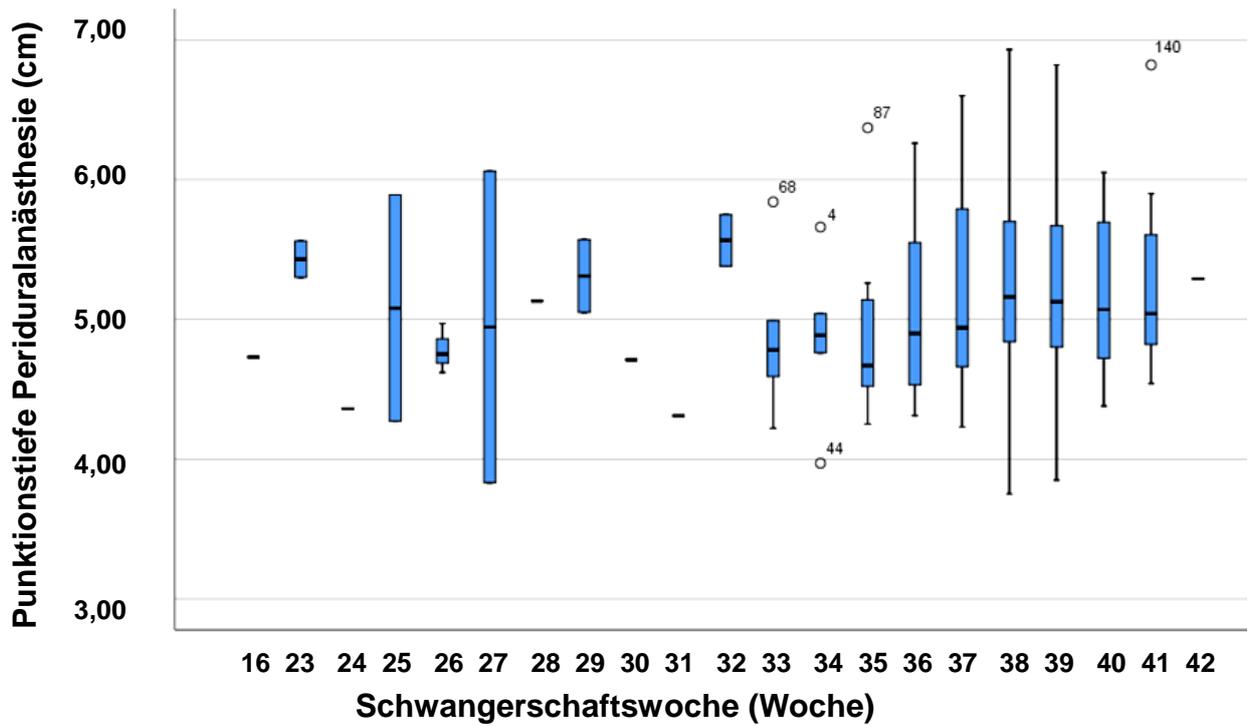
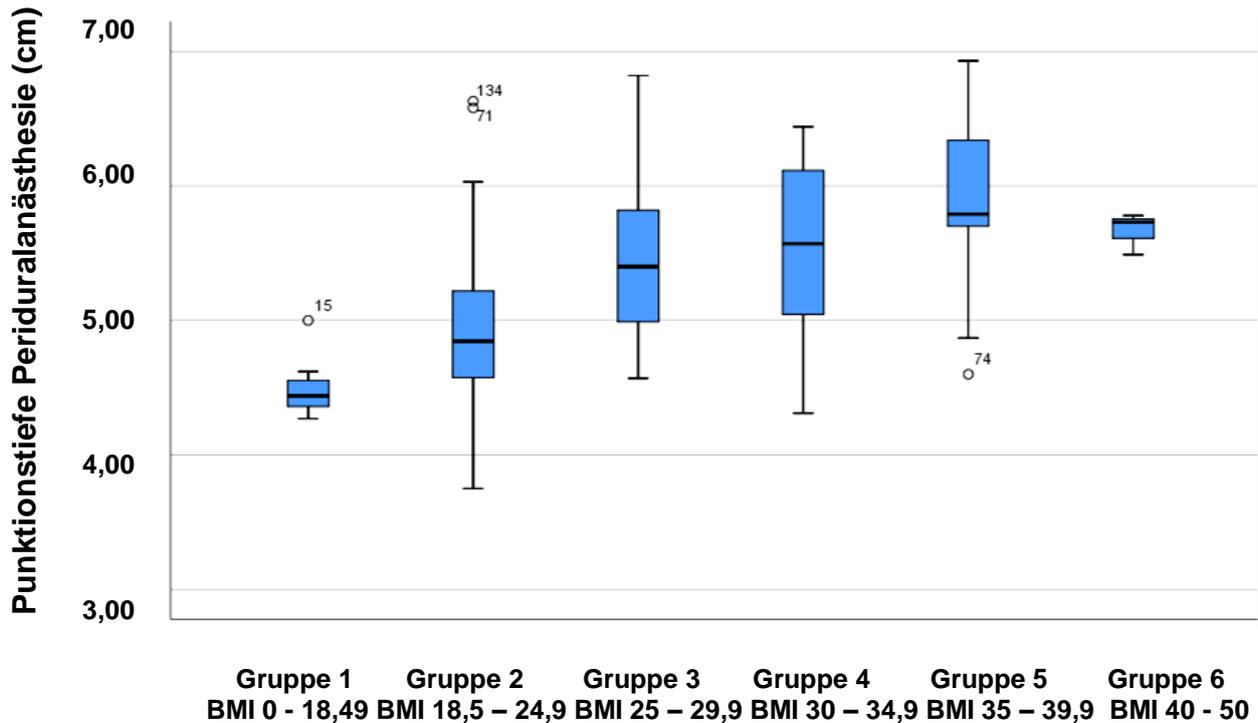


Abb. 26: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche)



Body-Mass-Index (Gruppe)

Abb. 27: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe)

Die erwartete Tiefe des Periduralraumes lässt in Abbildung 27 einen linearen Zusammenhang zu den BMI-Gruppen erkennen. Die deskriptive Statistik mit den Mittelwerten und deren Standardabweichung sowie die Mediane, dargestellt im Boxplot-Diagramm, bestätigen diesen (Tab. 21).

Für Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche ergibt sich kein visueller Zusammenhang zur Zielgröße (Abb. 24 – 26).

Tab. 21: Werte der deskriptiven Statistik für die erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe)

| Zielgröße | Einflussgröße | n | Mittelwert | Std.-Abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|---|---------------|-----|------------|-----------------|--------|---------|---------|
| Punktionstiefe Periduralanästhesie (cm) | BMI Gruppe 1 | 7 | 4,5057 | 0,24501 | 4,4400 | 4,27 | 5,00 |
| | BMI Gruppe 2 | 108 | 4,9368 | 0,56422 | 4,8450 | 3,75 | 6,63 |
| | BMI Gruppe 3 | 49 | 5,4671 | 0,57395 | 5,4000 | 4,57 | 6,82 |
| | BMI Gruppe 4 | 19 | 5,5642 | 0,65350 | 5,5700 | 4,31 | 6,44 |
| | BMI Gruppe 5 | 9 | 5,8722 | 0,78468 | 5,7900 | 4,60 | 6,93 |
| | BMI Gruppe 6 | 3 | 5,6667 | 0,15503 | 5,7300 | 5,49 | 5,78 |

Die Tiefe des Periduralraumes und der BMI vor Schwangerschaft korrelieren stark positiv, signifikant miteinander, $r = 0,469$, $p < 0,001$.

Für die Einflussgrößen Alter, Größe und Schwangerschaftswoche lässt sich keine signifikante lineare Beziehung zur Zielgröße feststellen (Tab. 22).

Tab. 22: Pearson-Korrelation (r = Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p -Wert) für die erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall

| Punktionstiefe Periduralanästhesie (cm) | | |
|---|----------|-----------|
| Einflussgrößen | r | p -Wert |
| Alter (Jahre) | 0,093 | 0,196 |
| Größe (cm) | 0,120 | 0,094 |
| SSW (Woche) | 0,135 | 0,061 |
| BMI vor SS (Gruppe) | 0,469*** | 0,000 |

*** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant

Als dritte abhängige Variable wird die Dicke des posterioren Komplexes, bestehend aus Ligamentum flavum, dem posterioren Epiduralraum und posteriorer Dura mater, den erklärenden Variablen Alter, Größe, Schwangerschaftswoche und Body-Mass-Index vor Schwangerschaft gegenübergestellt. Dies erfolgt zunächst deskriptiv durch Boxplot-Diagramme (Abb. 28 - 31).

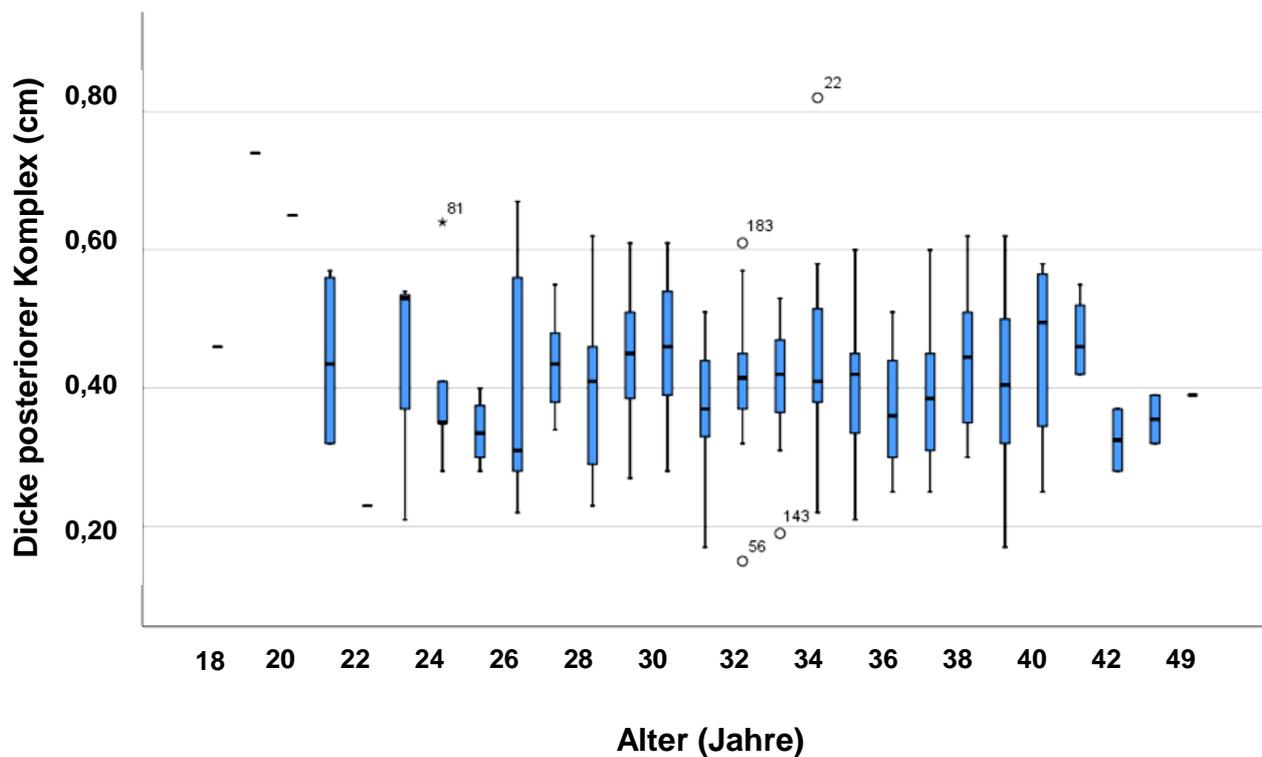


Abb. 28: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre)

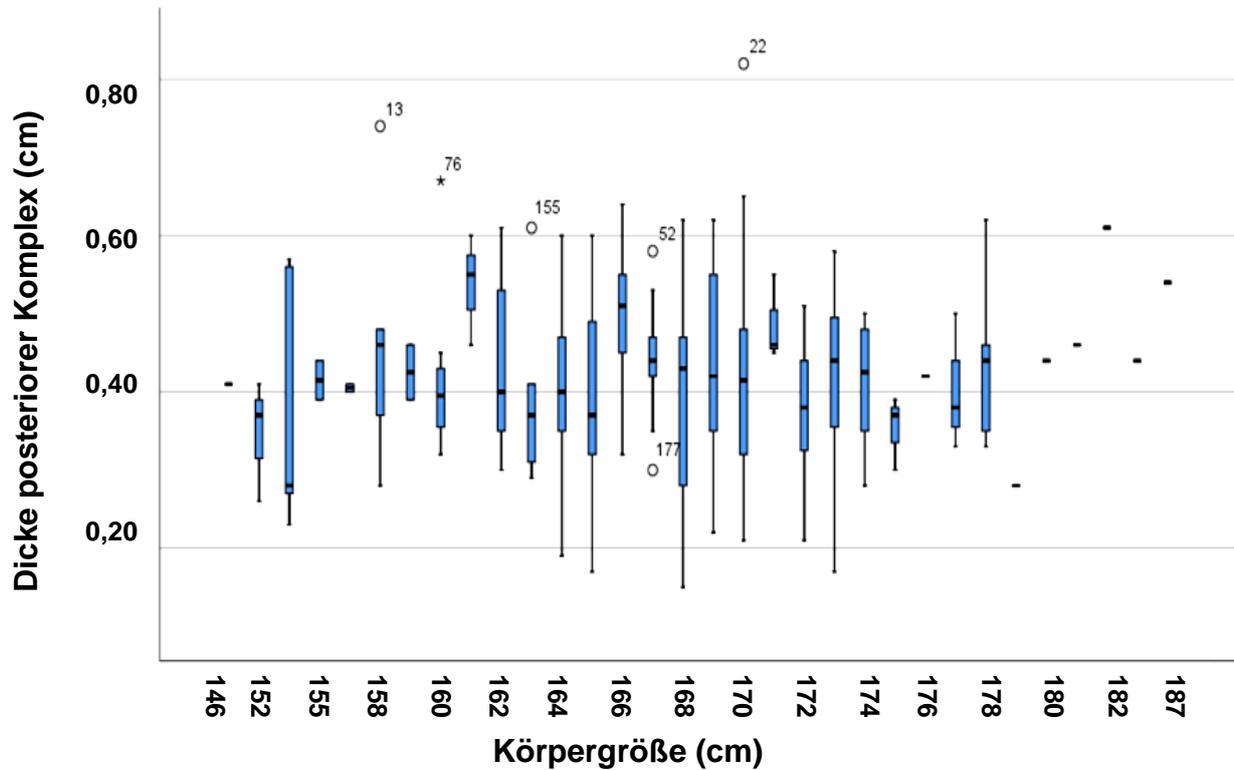


Abb. 29: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm)

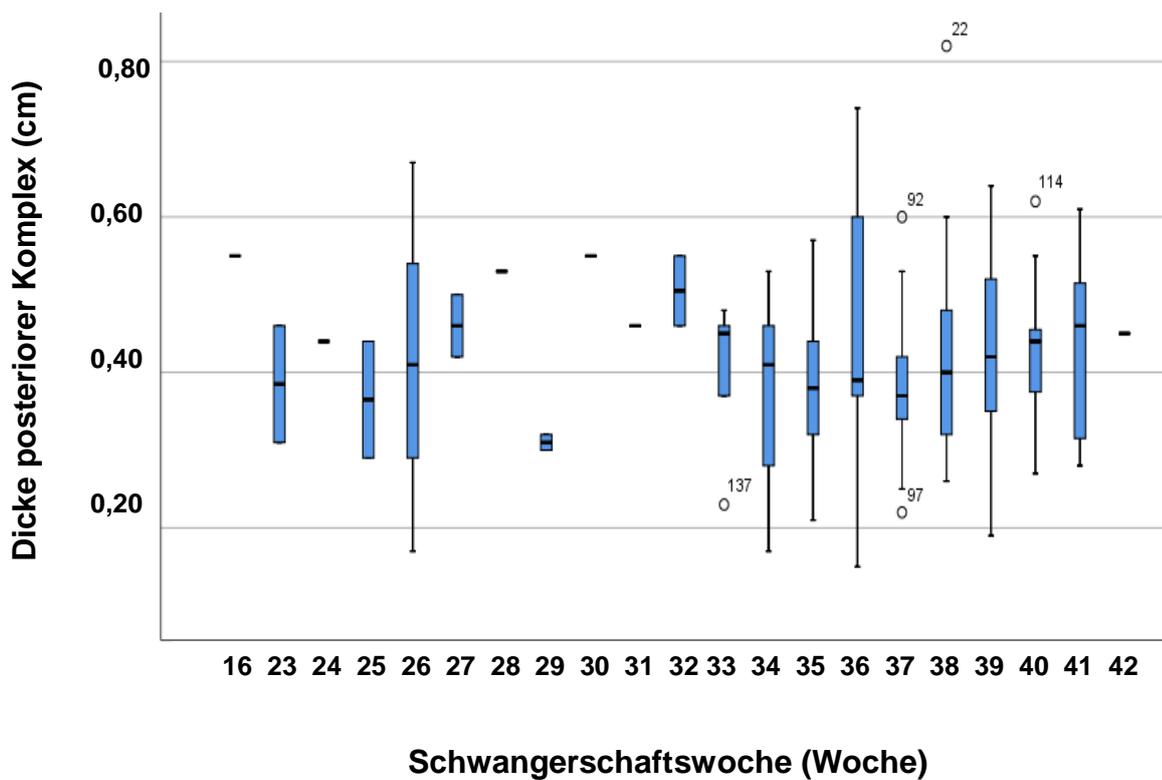


Abb. 30: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche)

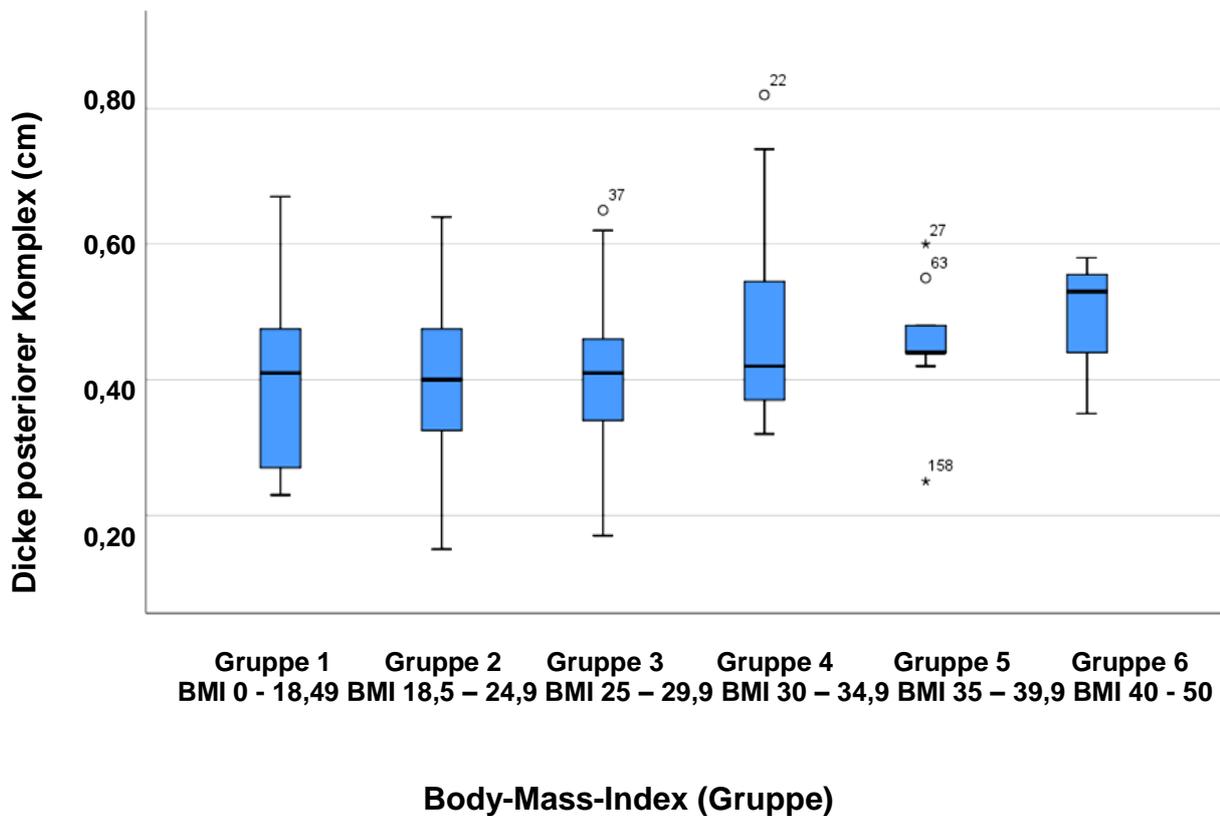


Abb. 31: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe)

Abbildung 31 und die Werte der deskriptiven Statistik (Tab. 23) lassen einen positiven linearen Zusammenhang zwischen der Dicke des posterioren Komplexes und dem BMI vor Schwangerschaft erahnen.

Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche haben augenscheinlich keinen Einfluss auf die Zielgröße (Abb. 28 - 30).

Tab. 23: Werte der deskriptiven Statistik für die erwartete Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe)

| Zielgröße | Einflussgröße | n | Mittelwert | Std.-Abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|--------------------------------|---------------|-----|------------|-----------------|--------|---------|---------|
| Dicke posteriorer Komplex (cm) | BMI Gruppe 1 | 7 | 0,4000 | 0,15780 | 0,4100 | 0,23 | 0,67 |
| | BMI Gruppe 2 | 108 | 0,4052 | 0,10934 | 0,4000 | 0,15 | 0,64 |
| | BMI Gruppe 3 | 49 | 0,4135 | 0,10449 | 0,4100 | 0,17 | 0,65 |
| | BMI Gruppe 4 | 19 | 0,4747 | 0,14136 | 0,4200 | 0,32 | 0,82 |
| | BMI Gruppe 5 | 9 | 0,4533 | 0,09657 | 0,4400 | 0,25 | 0,60 |
| | BMI Gruppe 6 | 3 | 0,4867 | 0,12097 | 0,5300 | 0,35 | 0,58 |

Nach Pearson korreliert die Dicke des posterioren Komplexes schwach positiv, signifikant mit dem BMI vor Schwangerschaft, $r = 0,180$, $p < 0,05$. Die drei anderen Einflussgrößen zeigen keinen linearen Zusammenhang zur Zielgröße "Dicke PC" (Tab. 24).

Tab. 24: Pearson-Korrelation (r = Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p -Wert) für die erwartete Dicke des posterioren Komplexes (cm) im transversalen Ultraschall

| Dicke posteriorer Komplex (cm) | | |
|--------------------------------|--------|-----------|
| Einflussgröße | r | p -Wert |
| Alter (Jahre) | -0,059 | 0,410 |
| Größe (cm) | 0,045 | 0,531 |
| SSW (Woche) | 0,010 | 0,892 |
| BMI vor SS (Gruppe) | 0,180* | 0,012 |

*Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Um einen visuellen Eindruck von möglichen Zusammenhängen zwischen der Zielvariablen "Note des Froschzeichens" und den Einflussgrößen Alter, Körpergröße, Schwangerschaftswoche und Body-Mass-Index vor Schwangerschaft zu bekommen, werden diese zunächst in Boxplot-Diagrammen einander gegenübergestellt (Abb. 32 - 35).

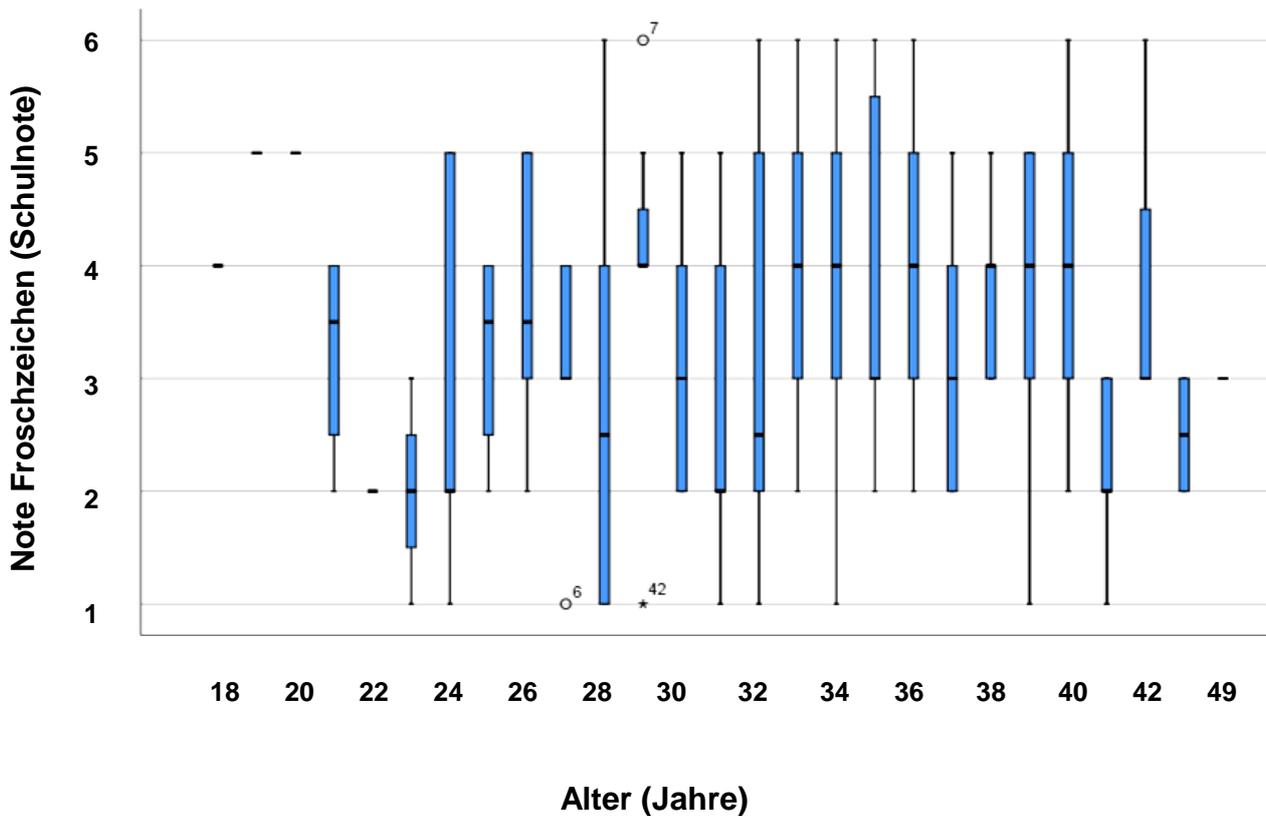


Abb. 32: Boxplot-Diagramm zur Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre)

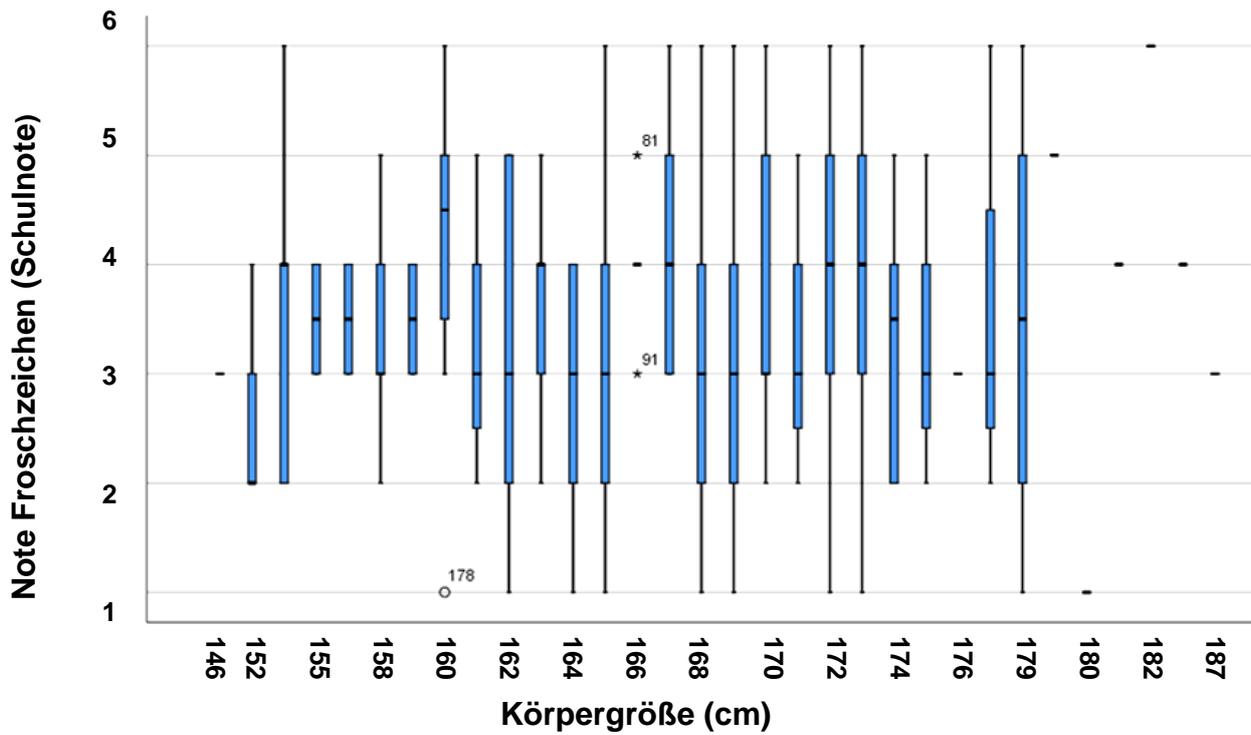


Abb. 33: Boxplot-Diagramm zur Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm)

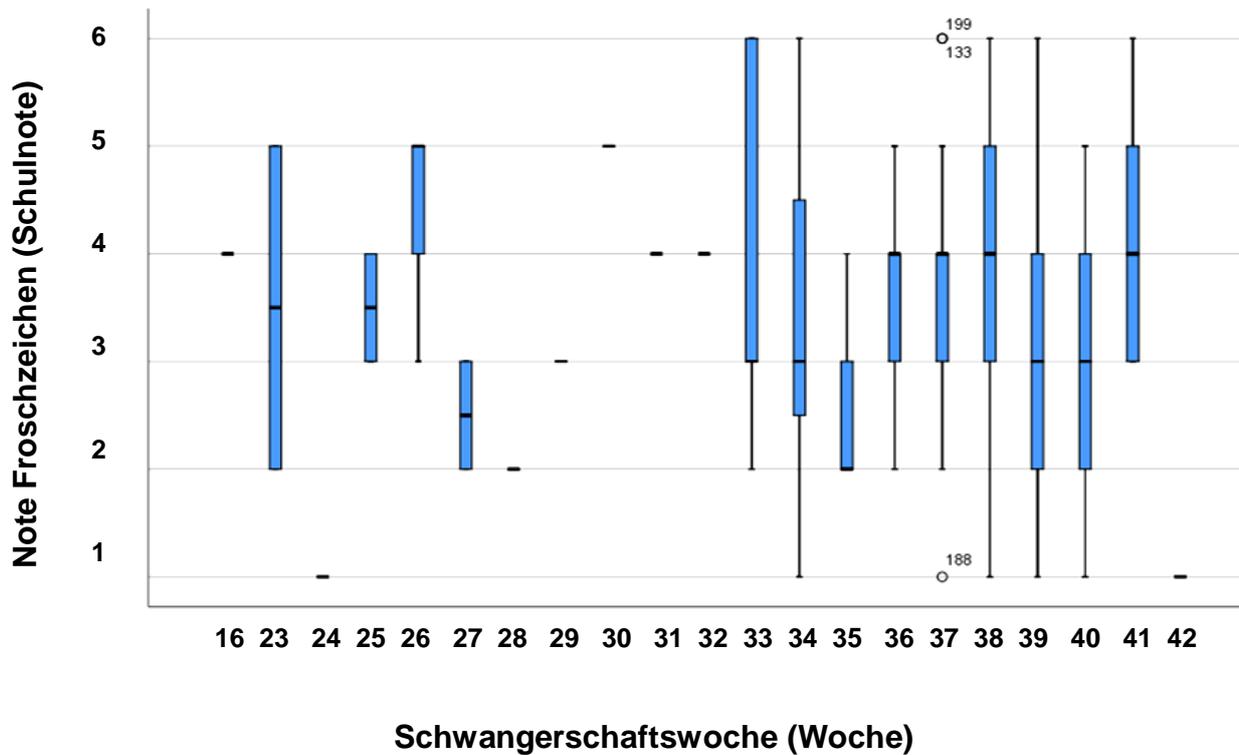
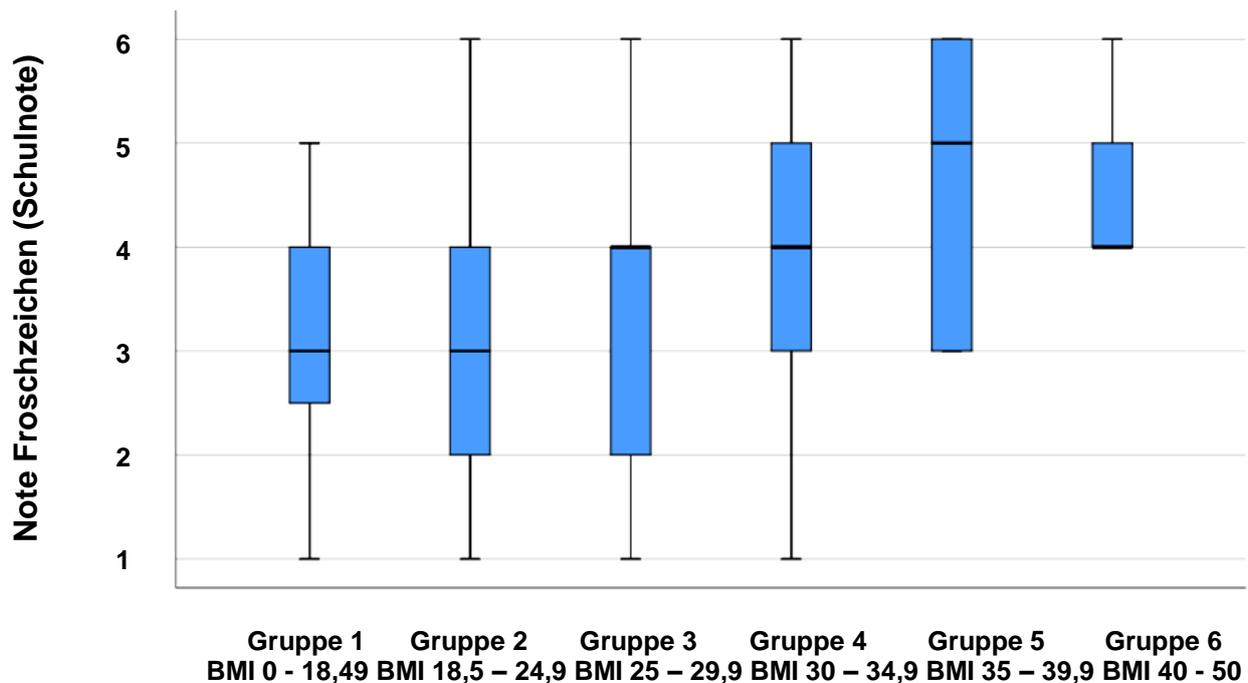


Abb. 34: Boxplot-Diagramm zur Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche)



Body-Mass-Index (Gruppe)

Abb. 35: Boxplot-Diagramm zur Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe)

Abbildung 35 lässt einen linearen positiven Zusammenhang zwischen der Note des Froschzeichens und den BMI Gruppen 1 - 5 erkennen. Die Werte der deskriptiven Statistik bestätigen diesen (Tab. 25). Je geringer der Body-Mass-Index, umso besser ist die Note für das Froschzeichen. In der 1. BMI-Gruppe ($n = 7$) liegt der Mittelwert der Note bei 3,1 mit einer durchschnittlichen Note zwischen 1,9 und 4,39. In der 2. BMI-Gruppe ($n = 108$) wird das Froschzeichen im Mittel mit der Note 3,2 beurteilt. Die Untergrenze des 95 % Konfidenzintervall liegt bei 2,97, die Obergrenze bei 3,48. In Gruppe 3 ($n = 50$) liegt der Mittelwert bei 3,44 (95 %-Konfidenzintervall 3,05 und 3,83). Mit einem Mittelwert von 3,95 lässt sich das Froschzeichen in der 4. BMI-Gruppe ($n = 19$) nur noch ausreichend darstellen (95 %-Konfidenzintervall 3,22 und 4,67). In Gruppe 5 ($n = 9$) liegt die Benotung bereits im Mittel bei 4- (4,56) und nähert sich in Gruppe 6 ($n = 3$) der Note mangelhaft an.

Die großen Konfidenzintervalle der 1., 5. und 6. Gruppe sind der relativ geringen Patientinnenzahl in diesen Gruppen geschuldet. In der zahlenmäßig stärksten Gruppe 2

mit $n = 108$ sind alle Noten vertreten und der Standardfehler mit 0,129 gering. Ebenso sieht es in Gruppe 3 aus. Sie ist mit 50 Patientinnen die zweitstärkste Gruppe, hat mit 0,192 einen relativ kleinen Standardfehler und auch sie weist alle Noten von sehr gut bis ungenügend auf. Der Median der Gruppe 6 liegt bei 4 und fällt aus dem linearen Zusammenhang. Mit einer Gruppenstärke von nur 3 Patientinnen ist diese Gruppe allerdings sehr schwach besetzt.

Bis Note 3 einschließlich lässt sich das Bild des Froschzeichens gut erkennen, so dass in den BMI-Gruppen 1 bis 3 dieses häufiger mit guter Qualität darstellbar ist als in den BMI-Gruppen 4 bis 6.

Die Abbildungen 32 - 34 lassen keinen Zusammenhang zwischen der Note des Froschzeichens und den erklärenden Variablen Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche erkennen.

Tab. 25: Werte der deskriptiven Statistik für die Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe)

| Zielgröße | Einflussgröße | n | Mittelwert | Std.-Abweichung | 95% Konfidenzintervall Untergrenze | 95% Konfidenzintervall Obergrenze | Median | Minimum | Maximum |
|--------------------------------|---------------|-----|------------|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------|---------|---------|
| Note Froschzeichen (Schulnote) | BMI Gruppe 1 | 7 | 3,14 | 1,345 | 1,90 | 4,39 | 3,00 | 1 | 5 |
| | BMI Gruppe 2 | 108 | 3,22 | 1,342 | 2,97 | 3,48 | 3,00 | 1 | 6 |
| | BMI Gruppe 3 | 50 | 3,44 | 1,358 | 3,05 | 3,83 | 4,00 | 1 | 6 |
| | BMI Gruppe 4 | 19 | 3,95 | 1,508 | 3,22 | 4,67 | 4,00 | 1 | 6 |
| | BMI Gruppe 5 | 9 | 4,56 | 1,509 | 3,40 | 5,72 | 5,00 | 3 | 6 |
| | BMI Gruppe 6 | 3 | 4,67 | 1,155 | 1,80 | 7,54 | 4,00 | 4 | 6 |

Die Variablen Note des Froschzeichens und BMI vor Schwangerschaft korrelieren schwach bis moderat positiv, signifikant miteinander, $r = 0,252$, $p < 0,001$.

Für die erklärenden Variablen Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche wird kein linearer Zusammenhang zur Zielgröße "Note des Froschzeichens" ermittelt (Tab. 26).

Tab. 26: Pearson-Korrelation (r = Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p -Wert) für die Note des Froschzeichens (Schulnote)

| Note Froschzeichen (Schulnote) | | |
|--------------------------------|----------|-----------|
| Einflussgröße | | |
| | r | p -Wert |
| Alter (Jahre) | 0,069 | 0,338 |
| Größe (cm) | 0,062 | 0,387 |
| SSW (Woche) | -0,010 | 0,893 |
| BMI vor SS (Gruppe) | 0,252*** | 0,000 |

***Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant

Die Zielgröße "Durchmesser des Spinalraumes" wird zunächst in Boxplot-Diagrammen den Einflussgrößen Alter, Körpergröße, Schwangerschaftswoche und Body-Mass-Index vor Schwangerschaft gegenübergestellt (Abb. 36 - 39).

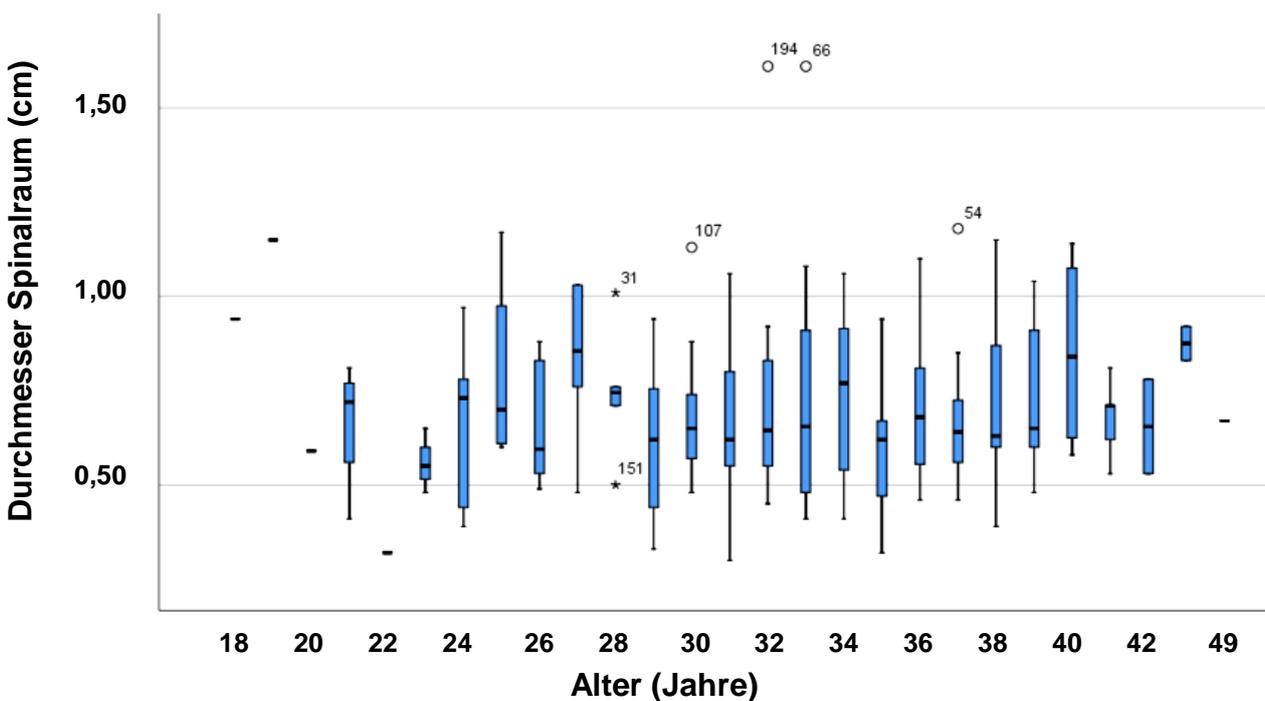


Abb. 36: Boxplot-Diagramm zur Darstellung des Durchmessers des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre)

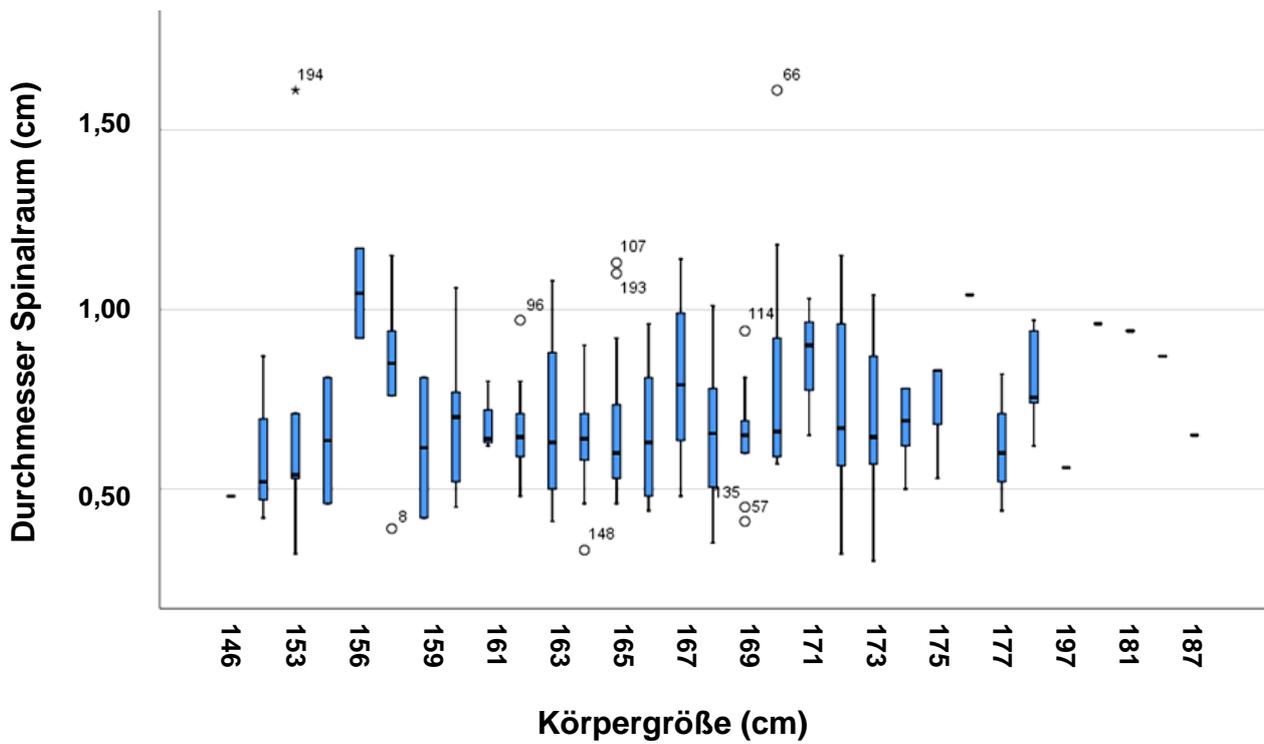


Abb. 37: Boxplot-Diagramm zur Darstellung des Durchmessers des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm)

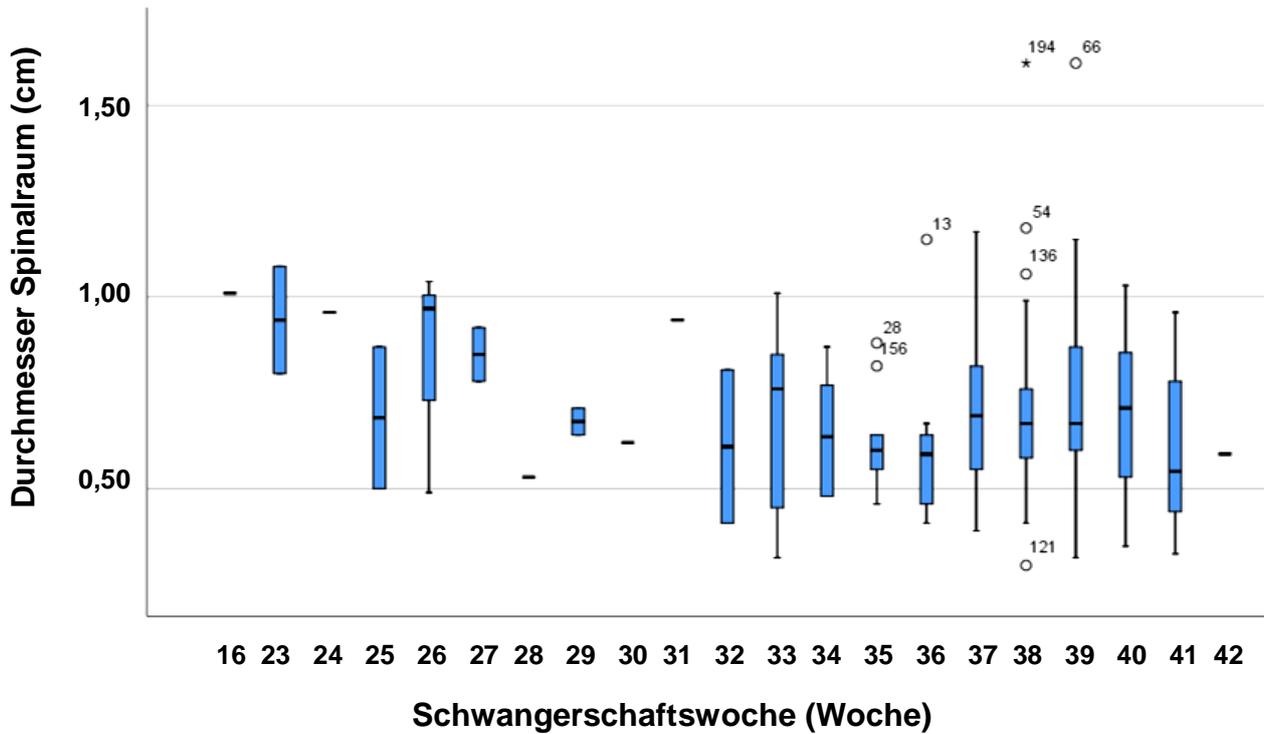


Abb. 38: Boxplot-Diagramm zur Darstellung des Durchmessers des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche)

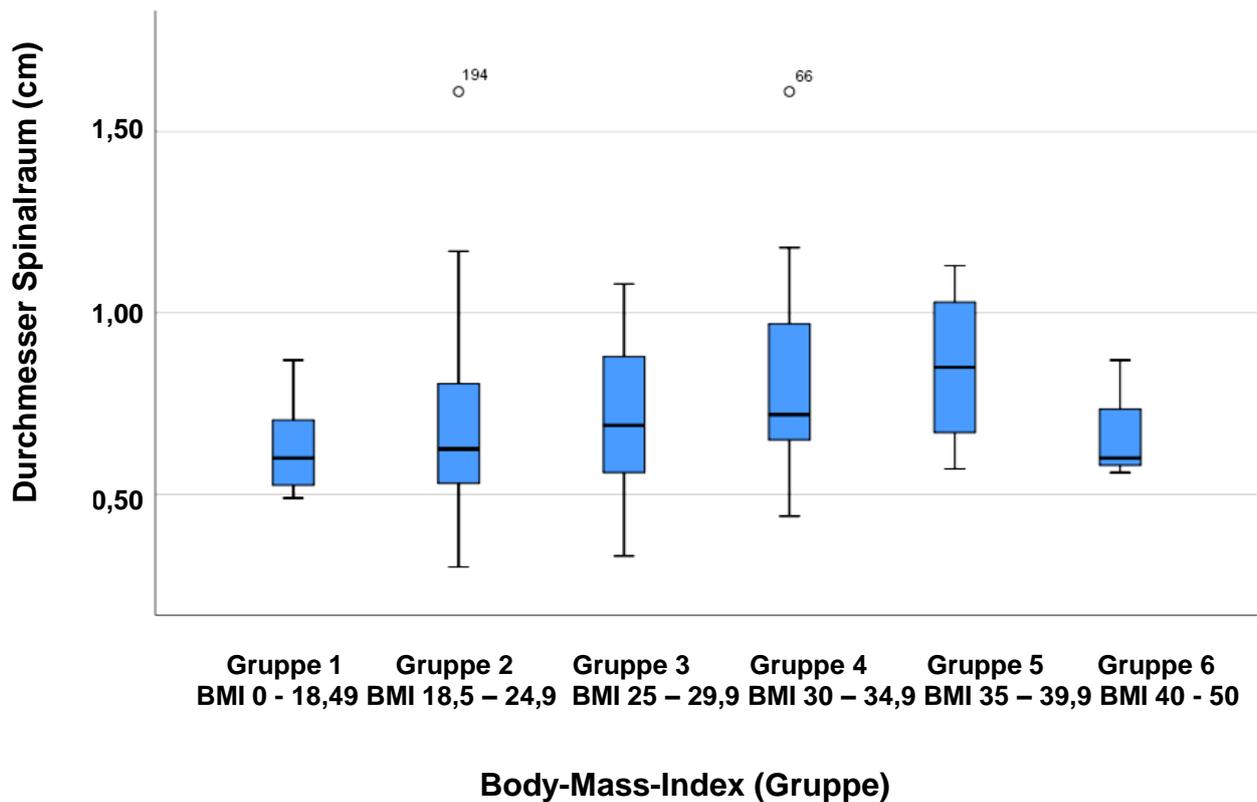


Abb. 39: Boxplot-Diagramm zur Darstellung des Durchmessers des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe)

Abbildung 39 lässt in den patientenmäßig stärker besetzten Gruppen 1 bis 5 einen linearen Zusammenhang zwischen dem BMI vor Schwangerschaft und dem Durchmesser des lumbalen Spinalraumes erkennen. Die entsprechenden Mittelwerte inklusive Standardabweichungen und Mediane der BMI-Gruppen 1 bis 5 bestätigen dieses (Tab. 27). Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche haben augenscheinlich keinen Einfluss auf die Zielgröße (Abb. 36 - 38).

Tab. 27: Werte der deskriptiven Statistik für den erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe)

| Zielgröße | Einflussgröße | n | Mittelwert | Std.-Abweichung | Median | Minimum | Maximum |
|-----------------------------|---------------|-----|------------|-----------------|--------|---------|---------|
| Durchmesser Spinalraum (cm) | BMI Gruppe 1 | 7 | 0,6314 | 0,13801 | 0,6000 | 0,49 | 0,87 |
| | BMI Gruppe 2 | 104 | 0,6766 | 0,21449 | 0,6250 | 0,30 | 1,61 |
| | BMI Gruppe 3 | 49 | 0,7078 | 0,19034 | 0,6900 | 0,33 | 1,08 |
| | BMI Gruppe 4 | 18 | 0,8283 | 0,29230 | 0,7200 | 0,44 | 1,61 |
| | BMI Gruppe 5 | 9 | 0,8478 | 0,20873 | 0,8500 | 0,57 | 1,13 |
| | BMI Gruppe 6 | 3 | 0,6767 | 0,16862 | 0,6000 | 0,56 | 0,87 |

Auch der Korrelationskoeffizient nach Pearson weist auf einen schwachen, positiven Zusammenhang zwischen dem BMI und dem Durchmesser des Spinalraumes hin, $r = 0,209$, der auf einem Niveau von $p < 0,01$ statistisch relevant ist.

Für die Einflussgrößen Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche lässt sich kein linearer Zusammenhang zur Zielgröße erkennen (Tab. 28).

Tab. 28: Pearson-Korrelation ($r =$ Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p-Wert) für den erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) im transversalen Ultraschall

| Durchmesser Spinalraum (cm) | | | |
|-----------------------------|----------|---------|--------|
| Einflussgröße | | r | p-Wert |
| Alter | (Jahre) | 0,026 | 0,717 |
| Größe | (cm) | 0,085 | 0,240 |
| SSW | (Woche) | -0,109 | 0,135 |
| BMI vor SS | (Gruppe) | 0,209** | 0,004 |

**Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

3.4 Interferenzstatistik

Der Body-Mass-Index vor Schwangerschaft zeigt in der linearen Regression eine signifikante Assoziation mit der erwarteten spinalen Punktionstiefe, Effektgröße = 0,321, $p < 0,001$ (Tab. 29). Laut Regressionsmodell nimmt die Punktionstiefe um durchschnittlich 0,321 cm zu bei Erhöhung der BMI-Gruppe um 1.

Für Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche ergaben sich keine signifikanten Assoziationen, was darauf schließen lässt, dass die Variablen nur einen geringen Einfluss auf die spinale Punktionstiefe haben und nur schlecht zur Vorhersage dieser geeignet sind.

Mithilfe des Regressionsmodells können 26,1 % der Varianz der Zielvariable "Erwartete spinale Punktionstiefe" erklärt werden ($R^2 = 0,261$), was nach Cohen einer hohen Varianzaufklärung entspricht (Tab. 4 u. 29).

Tab. 29: Regressionsmodell für die erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall. Aufgelistet sind der nicht standardisierte und der standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p-Wert).

| Punktionstiefe Spinalanästhesie | | | | |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------|--------|
| Variable | Koeffizient unstandardisiert | Koeffizient standardisiert | Standardfehler | p-Wert |
| Konstante | 2,721 | | 1,105 | 0,015 |
| Alter | 0,004 | 0,030 | 0,008 | 0,637 |
| Größe | 0,009 | 0,087 | 0,169 | 0,169 |
| SSW | 0,011 | 0,066 | 0,011 | 0,309 |
| BMI vor SS | 0,321*** | 0,481*** | 0,042 | 0,000 |
| <hr/> | | | | |
| R^2 | 0,261 | | | |
| Korr. R^2 | 0,246 | | | |
| F (df:4;189) | 16,715*** | | | 0,000 |

*** $p < 0,001$; R^2 =multipler Determinatinkoeffizient; F=Testverfahren benutzt F-Statistik; $F(df_{Zähler}, df_{Nenner})=F$ -Wert, der in der F-Verteilung nachgeschlagen wird, um den p-Wert zu berechnen

Der Body-Mass-Index vor Schwangerschaft zeigt eine signifikante Assoziation mit der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie, Effektgröße = 0,304, $p < 0,001$ (Tab. 30). Laut Regressionsgleichung geht ein Wechsel von einer BMI-Gruppe zur nächsthöheren mit einer durchschnittlichen Zunahme der Punktionstiefe des Periduralraumes von 0,304 cm einher.

Für Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche ergaben sich keine signifikanten Assoziationen, was darauf schließen lässt, dass die Variablen nur einen geringen Einfluss auf die peridurale Punktionstiefe haben, nur schlecht zur Vorhersage dieser geeignet und in der Regressionsgleichung zu vernachlässigen sind.

Mithilfe des Regressionsmodells können 23,5 % der Varianz der Zielvariable "Erwartete Punktionstiefe des Periduralraumes" erklärt werden ($R^2 = 0,235$), was nach Cohen einer moderaten bis hohen Varianzaufklärung entspricht (Tab. 4 u. 30).

Tab. 30: Regressionsmodell für die erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall. Aufgelistet sind der nicht standardisierte und der standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p-Wert).

| Punktionstiefe Periduralanästhesie | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| Variable | Koeffizient unstandardisiert | Koeffizient standardisiert | Standardfehler | p-Wert |
| Konstante | 2,343 | | 1,130 | 0,039 |
| Alter | 0,007 | 0,060 | 0,008 | 0,366 |
| Größe | 0,009 | 0,085 | 0,007 | 0,187 |
| SSW | 0,009 | 0,053 | 0,012 | 0,423 |
| BMI vor SS | 0,304*** | 0,453*** | 0,043 | 0,000 |
| <hr/> | | | | |
| R^2 | 0,235 | | | |
| Korr. R^2 | 0,219 | | | |
| F (df:4;189) | 14,466*** | | | 0,000 |

*** $p < 0,001$; R^2 =multipler Determinatinskoeffizient; F=Testverfahren benutzt F-Statistik; $F(df_{Zähler}, df_{Nenner})=F$ -Wert, der in der F-Verteilung nachgeschlagen wird, um den p-Wert zu berechnen

Der Body-Mass-Index vor Schwangerschaft ist als Prädiktor für die erwartete Dicke des posterioren Komplexes auf einem Niveau von $p < 0,05$ signifikant, Effektgröße = 0,021 (Tab. 31).

Laut Regressionsmodell könnte man vorsichtig formulieren, dass ein Wechsel von einer BMI-Gruppe zur nächsthöheren mit einer Zunahme der Dicke des posterioren Komplexes um durchschnittlich 0,021 cm einhergeht.

Für Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche ergaben sich keine signifikanten Assoziationen, was dafür spricht, dass die Variablen keinen Einfluss auf die Zielgröße haben.

Mithilfe des Regressionsmodells lassen sich 3,9 % der Varianz der Zielvariable erklären ($R^2 = 0,039$), was nach Cohen einer geringen Varianzaufklärung entspricht (Tab. 4 u. 31). Das Gesamtmodell ist nicht signifikant.

Tab. 31: Regressionsmodell für die erwarteten Dicke des posterioren Komplexes (cm) im transversalen Ultraschall. Aufgelistet sind der nicht standardisierte und der standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p-Wert).

| Dicke posteriorer Komplex | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| Variable | Koeffizient unstandardisiert | Koeffizient standardisiert | Standardfehler | p-Wert |
| Konstante | 0,277 | | 0,219 | 0,208 |
| Alter | -0,001 | -0,066 | 0,002 | 0,375 |
| Größe | 0,001 | 0,045 | 0,001 | 0,536 |
| SSW | -2,708E-5 | -0,001 | 0,002 | 0,990 |
| BMI vor SS | 0,021* | 0,182* | 0,008 | 0,013 |
| <hr/> | | | | |
| R^2 | 0,039 | | | |
| Korr. R^2 | 0,019 | | | |
| F (df:4;189) | 1,908 | | | 0,111 |

* $p < 0,05$; R^2 =multipler Determinatinskoeffizient; F=Testverfahren benutzt F-Statistik; $F(df_{Zähler}, df_{Nenner})=F$ -Wert, der in der F-Verteilung nachgeschlagen wird, um den p-Wert zu berechnen

Der BMI vor Schwangerschaft zeigt eine signifikante Assoziation mit der Note des Froschzeichens, Effektgröße = 0,360, $p < 0,001$ (Tab. 32).

Laut Regressionsmodell ist ein Wechsel in die nächsthöhere BMI-Gruppe mit einer Notenverschlechterung für das Froschzeichen um durchschnittlich 0,360, d.h. eine Drittelnote, verbunden.

Für Alter, Körpergröße und Schwangerschaftswoche ergaben sich keine signifikanten Assoziationen, was ein Indiz dafür ist, dass die Variablen nur einen geringen Einfluss auf die Note des Froschzeichens haben und nur schlecht zur Vorhersage dieser geeignet sind.

Mithilfe des Regressionsmodells lassen sich 2,7 % der Varianz der Zielvariable erklären ($R^2 = 0,027$), was nach Cohen einer geringen Varianzaufklärung entspricht (Tab. 4 u. 32).

Tab. 32: Regressionsmodell für die Note des Froschzeichens (Schulnote). Aufgelistet sind der nicht standardisierte und der standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p-Wert).

| Note Froschzeichen | | | | |
|--------------------|------------------------------|----------------------------|----------------|--------|
| Variable | Koeffizient unstandardisiert | Koeffizient standardisiert | Standardfehler | p-Wert |
| Konstante | 1,497 | | 2,615 | 0,568 |
| Alter | 0,017 | 0,068 | 0,019 | 0,350 |
| Größe | 0,010 | 0,045 | 0,015 | 0,528 |
| SSW | -0,032 | -0,086 | 0,027 | 0,236 |
| BMI vor SS | 0,360*** | 0,255*** | 0,100 | 0,000 |
| <hr/> | | | | |
| R^2 | 0,027 | | | |
| Korr. R^2 | 0,053 | | | |
| F (df:4;189) | 3,675** | | | 0,007 |

*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$; R^2 =multipler Determinationskoeffizient; F=Testverfahren benutzt F-Statistik; $F(df_{Zähler}, df_{Nenner})$ =F-Wert, der in der F-Verteilung nachgeschlagen wird, um den p-Wert zu berechnen

Für die Zielgröße "Erwarteter Durchmesser des Spinalraumes" ist der Body-Mass-Index vor Schwangerschaft als Prädiktor signifikant, $p < 0,01$, so dass eine Assoziation zur Zielgröße wahrscheinlich ist, Effektgröße = 0,051 (Tab. 33).

Laut Regressionsmodell geht ein Wechsel in die nächsthöhere BMI-Gruppe mit einer Zunahme des Durchmessers des Spinalraumes um durchschnittlich 0,051cm einher.

Die Schwangerschaftswoche zeigt eine signifikante negative Assoziation zur Zielgröße, Effektgröße = - 0,009, $p < 0,05$. Das heißt, dass mit Zunahme der Schwangerschaftsdauer um eine Woche der Durchmesser des Spinalraumes um 0,09 mm abnimmt.

Für Alter und Körpergröße ergaben sich keine signifikanten Assoziationen, was ein Indiz dafür ist, dass die Variablen allenfalls einen geringen Einfluss auf den Durchmesser des Spinalraumes haben und nur schlecht zur Vorhersage dieses geeignet sind.

Mithilfe des Regressionsmodells lassen sich 7,3 % der Varianz der Zielvariable erklären ($R^2 = 0,073$), was nach Cohen einer schwachen Varianzaufklärung entspricht (Tab. 4 u. 33)

Tab. 33: Regressionsmodell für den erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) im transversalen Ultraschall. Aufgelistet sind der standardisierte und der nicht standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p-Wert).

| Durchmesser Spinalraum | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| Variable | Koeffizient unstandardisiert | Koeffizient standardisiert | Standardfehler | p-Wert |
| Konstante | 0,345 | | 0,421 | 0,413 |
| Alter | 0,002 | 0,038 | 0,003 | 0,609 |
| Größe | 0,003 | 0,089 | 0,002 | 0,219 |
| SSW | -0,009* | 0,154* | 0,004 | 0,038 |
| BMI vor SS | 0,051** | 0,229** | 0,016 | 0,002 |
| <hr/> | | | | |
| R^2 | 0,073 | | | |
| Korr. R^2 | 0,053 | | | |
| F (df:4;189) | 3,625** | | | 0,002 |

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$; R^2 =multipler Determinatinskoeffizient; F=Testverfahren benutzt F-Statistik; $F(df_{Zähler}, df_{Nenner})=F$ -Wert, der in der F-Verteilung nachgeschlagen wird, um den p-Wert zu berechnen

4. Diskussion

Das Patientenkollektiv der vorliegenden retrospektiven Studie setzt sich aus 200 Patientinnen zusammen, die aufgrund des Alters, einer fetalen Anomalie oder des erhöhten Body-Mass-Index als Risikoschwangere gelten (Tab. 6, 8 u. 11). Risikoschwangere werden aufgrund eines erhöhten Risikos für Schwangerschafts- und Geburtskomplikationen bevorzugt in Kliniken der Maximalversorgung, wozu die Frauenklinik des Universitätsklinikums Bonn zählt, entbunden. Die Sectorate bei diesem Risikoklientel ist erhöht. So verwundert es nicht, dass in den Studienjahren 2011 bis 2013 die Sectorate an der Frauenklinik des Universitätsklinikums Bonn um durchschnittlich 10 % höher lag als die vom Statistischen Bundesamt (2021) für die entsprechenden Jahre ermittelte Sectorate bezogen auf alle Krankenhausentbindungen in Deutschland (Tab. 5).

Die Spinalanästhesie stellt das Standardverfahren für die elektive Sectio an der Frauenklinik des Universitätsklinikums Bonn dar. Dieser Eingriff ist im Regelfall planbar, findet im täglichen Routine-OP-Verlauf statt, so dass genügend Personalressourcen vorhanden sind, um die präinterventionelle Sonographie in die Routineabläufe zu integrieren, ohne die zeitlichen Abläufe im OP zu verzögern. Aus diesem Grund wurde der Hauptanteil der präinterventionellen Ultraschallaufnahmen (86%) bei Schwangeren vor der Anlage einer Spinalanästhesie zur Sectio gemacht (Tab. 6). 75 % der Patientinnen befanden sich zum Zeitpunkt der Intervention zwischen der 37. und 42. Schwangerschaftswoche, nach Definition der Deutschen Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe (DGGG, 2021) dem Zeitfenster einer Termin-/Reifgeburt, mit einem Häufigkeitspeak in der 39. Schwangerschaftswoche, was dem Zeitpunkt für eine elektive Sectio entspricht (Abb. 12). Obwohl in der hier vorliegenden Studie die Höhenlokalisierung mit der Palpationstechnik durchgeführt wurde und nicht mit einer zusätzlichen möglicherweise zeitaufwendigeren paramedianen Ultraschallaufnahme, erfassten wir von den jeweils 522 Sectiones in Spinalanästhesie in den beiden kompletten Studienjahren 2012 und 2013 nur 19,5 % (102 Patientinnen) respektive 8,8 % (46 Patientinnen) (Tab. 7).

Die Regionalanästhesie kam bei über 60 % aller Frauen zum Einsatz, die an der Frauenklinik des Universitätsklinikums Bonn per Sectio oder spontan entbunden haben, was

den Stellenwert der rückenmarksnahen Anästhesieverfahren in der Geburtshilfe unterstreicht (Tab. 5). Es ist unumgänglich, ein höchstmögliches Maß an Sicherheit und Zuverlässigkeit in die Anlage des Periduralkatheters und die Punktion des Spinalraumes zu legen, was eine gute Punktionsplanung voraussetzt.

Durch eine einzige transversale Ultraschallaufnahme lassen sich Punktionsort, Punktionsweg und Punktionsraum bzw. -tiefe visualisieren. Bei 97 % der Studienpatientinnen konnte der Spinalraum, eingefasst vom anterioren und posterioren Komplex, dargestellt werden (Abb. 14). Diese Erfolgsquote wurde in mindestens 83 % von einem Assistenzarzt, der sich im 1. oder 2. Ausbildungsjahr befand, unter Supervision erzielt (3.2).

In Zusammenspiel mit den *Prozessus articulares* als seitliche Begrenzungen des interspinalen Raumes markieren die beiden Komplexe den Punktionsweg für die Spinal- und Periduralanästhesie und formen das einprägsame Bild des Froschzeichens (Abb. 1 - 4), das bei über der Hälfte der Schwangeren in der vorliegenden Studie in mindestens befriedigender Qualität darzustellen war, ohne dass der Untersucher dieses Muster kannte bzw. danach gesucht hat (Tab. 15, Abb. 16). Wie bereits in der Einleitung beschreiben, sind Muster ein beliebtes Tool in der neuroaxialen Sonographie, um eine optimale Bildeinstellung schnell reproduzieren zu können (1.2).

Der Body-Mass-Index vor Schwangerschaft stellte sich als signifikanter Prädiktor für die Qualität des Froschzeichens heraus (Effektgröße = 0,360, $p < 0,001$). Eine Erhöhung des BMI vor Schwangerschaft in die nächste Gruppe geht mit einer durchschnittlichen Verschlechterung der Note für das Froschzeichen von 0,36, was einer Drittelnote entspricht, einher (Tab. 32). Je leichter die schwangere Patientin, umso besser ist die Qualität der Darstellbarkeit des Froschzeichens (Abb. 35, Tab. 25).

Sowohl des Froschzeichen, als auch das „equal sign“ (Balki 2010, Grau et al., 2001, Vallejo et al., 2010) und das Bild der „Fledermaus“ („flying bat“, Carvalho, 2008) können dem Untersucher als Hilfestellung dienen, um die richtige sonographische Schallebene im transversalen Ultraschall zu wählen.

Der lumbale Intraduralraum, in dem der Liquor cerebrospinalis fließt, war bei den schwangeren Patientinnen der vorliegenden Studie durchschnittlich 0,71 cm (+/- 0,22 cm) breit (Abb. 15, Tab. 14). Tong et al. (2006) vermaßen im MRT den Durchmesser

des Durasackes mit 0,65 - 0,76 cm, was vergleichbar ist mit unseren per Ultraschall vermessenen Werten. Bei Grau et al. (2001) hatte der lumbale Intraduralraum bei einem vergleichbaren schwangeren Patientenkollektiv (BMI 29,2 +/- 6,5 kg/m²) vor Anlage einer geburtshilflichen PDA eine unserem Messwert ähnliche Breite von 0,9 cm (+/- 0,4 cm). Arzola et al. (2006) ermittelten an einem kleinen schwangeren Patientenkollektiv mit vergleichbarem BMI bei Sectio (BMI 29,7 +/- 4,8 kg/m²) einen erwarteten Durchmesser von 0,85 +/- 0,17 cm. Die Autoren gingen in einer späteren Untersuchung der Fragestellung nach, ob der anteriore-posteriore Durchmesser des Durasackes, der im transversalen Ultraschall bestimmt wurde, mit dem Ausbreitungsniveau der sensiblen Blockade einer Spinalanästhesie korreliert, was an ihrem kleinen Patientenkollektiv von 41 Schwangeren nicht bestätigt werden konnte (Arzola et al., 2007b). Kozanhan et al. (2020) stellten den Body Roundness Index (BRI) als Prädiktor für das Ausbreitungsniveau der Spinalanästhesie bei Schwangeren zur elektiven Sectio heraus.

Der Body-Mass-Index vor Schwangerschaft korrelierte in der vorliegenden Studie nur schwach mit dem erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (Abb. 39, Tab. 27 u. 28), erwies sich aber als signifikanter Prädiktor für diesen (Effektgröße = 0,051, $p < 0,01$). Eine Erhöhung in die nächste BMI-Gruppe geht mit einer durchschnittlichen, wenn auch nur geringen Zunahme des Spinalraumdurchmessers um 0,51 mm einher (Tab. 33).

Im Gegensatz hierzu konnten Sahin et al. (2014) für nicht adipöse (BMI 26,4 +/- 2,2 kg/m²) und adipöse Schwangere (BMI 34,1 +/- 3,5 kg/m²) einen annähernd gleichen erwarteten Spinalraumdurchmesser von 0,9 +/- 0,2 cm respektive 0,9 +/- 0,1 cm ermitteln. Auch Arzola et al. (2006) konnten bei ihrem vergleichbaren Patientenkollektiv keine Korrelation zwischen Spinalraumdurchmesser und gewichtsbezogenen Einflussgrößen darstellen.

Interessanterweise erwies sich in der vorliegenden Studie die Schwangerschaftswoche als negativer Prädiktor für den Durchmesser des Spinalraumes (Effektgröße = - 0,009, $p < 0,05$). Das heißt, dass mit Zunahme der Schwangerschaftsdauer um eine Woche der Durchmesser des Spinalraumes um 0,09 mm abnimmt, was die Gesamtbreite natürlich nur unwesentlich beeinflusst (Abb. 38, Tab. 33). Grau et al. (2001) machten eine ähnliche Entdeckung. Sie fanden heraus, dass der Spinalraum einer Schwangeren zur Geburt schmaler ist als 9 Monate post partum und postulieren, dass diese Verschmälerung

die Punktion dieses Raumes bei der Anlage rückenmarksnaher Anästhesieverfahren zur Geburt erschwert.

Stellt man sich den Spinalraum mit seinen Begrenzungen per Ultraschall dar, kann man einerseits seine Breite ermitteln und kennt zudem die Tiefe des anterioren Komplexes. Trifft man bei der Punktion auf knöcherne Strukturen kann man so differenzieren, ob man sich auf Höhe der Laminae oder Processus transversi befindet und damit von der Mittellinie abgewichen ist, oder sich bereits am Hinterrand des Wirbelkörpers befindet mit der Gefahr der Verletzung des hier liegenden venösen Plexus (Abb. 1 u. 6).

Die durchschnittliche erwartete Tiefe des spinalen Punktionsraumes der 200 Patientinnen in der hier vorliegenden Studie liegt bei 5,58 cm +/- 0,65 cm (Tab. 16, Abb. 17). Der tiefste Spinalraum liegt mit 7,37 cm immer noch in Erreichbarkeit der Standardnadel, vorausgesetzt, dass die Punktion parallel zur Sitzfläche der Patientin stattfindet. In dieser Ebene wurde das präinterventionelle Ultraschallbild erzeugt. Die kleinste gemessene Tiefe des Spinalraumes maß 4,22 cm, so dass hier ein Introducer der Länge 5 cm mit seiner Dicke und seinem Schliff ein größeres Duraleck verursachen würde mit der Konsequenz von PDPH. Andererseits kann man bei allen Studienpatientinnen den 3,0 cm Introducer gefahrlos komplett einstechen, ohne hiermit bereits die Dura zu perforieren, wie es bei sehr kachektischen Patienten vorkommen kann.

In der vorliegenden Studie konnte ein positiver starker linearer Zusammenhang zwischen dem Body-Mass-Index vor Schwangerschaft und der erwarteten Tiefe des spinalen Punktionsraumes dargestellt (Abb. 23, Tab. 19 u. 20) und diese Einflussgröße als Prädiktor für die spinale Punktionstiefe herausgestellt werden (Effektgröße = 0,321, $p < 0,001$). So geht eine Erhöhung des Body-Mass-Index in die nächsthöhere Gruppe mit einer durchschnittlichen Zunahme der spinalen Punktionstiefe um 0,321 cm einher (Tab. 29). Die Schwangerschaftswoche zeigte eine schwache signifikante Korrelation mit der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (Abb. 22, Tab. 20), wurde als Prädiktor aber nicht signifikant (Tab. 29).

Im präinterventionellen transversalen Ultraschall an 100 schwangeren Patientinnen zur elektiven Sectio in SPA, die mit einem durchschnittlichen BMI 27,2 kg/m² bei Eingriff

deutlich schlanker als unserer Studienpatientinnen waren, wurde die Tiefe von der Haut bis zur ventralen Grenze des posterioren Komplexes mit $4,87 \pm 0,67$ cm vermessen, also deutlich geringer als bei den Patientinnen in der vorliegenden Studie (Dhanger et al., 2018). Die tatsächliche Punktionstiefe lag bei $4,79 \pm 0,91$ cm und korrelierte signifikant mit der erwarteten Punktionstiefe ($r = 0,97$). Eine Korrelation zu gewichtsbezogenen Größen der Schwangeren wurde nicht untersucht. In einer RCT mit 100 Patientinnen (50 Patientinnen mit $\text{BMI} < 30 \text{ mg/m}^2$, 50 Patientinnen mit $\text{BMI} > 30 \text{ mg/m}^2$ bei Sectio), die in SPA sectioniert wurden, wurde die erwartete Tiefe des Spinalraumes im transversalen Ultraschall mit $4,7 \pm 0,6$ cm respektive $5,3 \pm 0,5$ cm vermessen. Die tatsächliche Tiefe lag, vergleichbar mit der erwarteten Punktionstiefe der vorliegenden Studie, bei $5,7 \pm 0,4$ cm respektive $6,5 \pm 0,8$ cm. Die Diskrepanz zwischen den erwarteten und tatsächlichen Punktionstiefen wird auf die Kompression des weichen Subcutangewebes, vor allem bei adipösen Schwangeren, durch den Schallkopf zurückgeführt (Sahin et al., 2014). An einem großen Patientenkollektiv mit 332 Schwangeren ($\text{BMI} 29,8 \pm 5,6 \text{ kg/m}^2$ bei Sectio), die eine CSE zur elektiven Sectio erhielten, wurde die durchschnittliche erwartete Tiefe der spinalen Punktion mit $6,5 \pm 1,2$ cm angegeben. Für dieses, unseren Studienpatientinnen sehr ähnliches Patientenkollektiv, konnte genau wie bei uns, ein signifikanter Zusammenhang zwischen der tatsächlichen spinalen Punktionstiefe und dem Body-Mass-Index, hier allerdings dem BMI bei Sectio, dargestellt werden (Bassiakou et al, 2011).

Gnaho et al. (2012), Gülay et al. (2014), Sahin et al. (2014) und Dhanger et al. (2018) zeigten eine gute Korrelation zwischen der erwarteten und tatsächlichen spinalen Punktionstiefe in sitzender Position bei adipösen und nicht adipösen Schwangeren, so dass es möglich ist, die Punktionsplanung auf präinterventionell ermittelten Punktionstiefen aufzubauen. Der Body-Mass-Index ist der größte Einflussfaktor auf die Punktionstiefe der Spinalanästhesie.

Die Tiefe des erwarteten lumbalen Periduralraumes lag bei dem Patientenkollektiv der vorliegenden Studie bei durchschnittlich bei $5,17$ cm ($\pm 0,66$ cm). Der oberflächlichste Periduralraum ist nach $3,75$ cm zu erreichen, der tiefste nach $6,93$ cm (Tab. 17, Abb. 18). Diese Werte sind vergleichbar mit den PDA-Tiefen der Literatur für schwangere Pa-

tientinnen mit einem vergleichbaren BMI, die zwischen 4,6 und 5,6 cm rangieren (Arzola et al., 2007a, Canturk et al., 2019, Grau et al., 2002, Perna et al., 2017, Vallejo et al., 2010). Vorausgesetzt, dass die Periduralnadel parallel zur Sitzfläche der Patientin bis in den Periduralraum geführt wird, entsprechend der Ultraschallebene der hier vorliegenden Studie, ist der Einsatz einer überlangen Periduralnadel bei diesem Patientenkollektiv nicht nötig.

Der Body-Mass-Index vor Schwangerschaft und die erwartete Tiefe des periduralen Punktionsraumes zeigen einen starken linearen, signifikanten Zusammenhang (Abb. 27, Tab. 21 u. 22). Der Body-Mass-Index vor Schwangerschaft erweist sich als signifikanter Prädiktor für die erwartete peridurale Punktionstiefe (Effektgröße = 0,304, $p < 0,001$). Eine Erhöhung in die nächsthöhere BMI-Gruppe geht mit einer Zunahme der periduralen Punktionstiefe um durchschnittlich 0,304 cm einher (Tab. 30).

Die erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie im transversalen Ultraschall korreliert gut mit der tatsächlichen Punktionstiefe ($r = 0,88$ bis $0,99$), was für nicht Schwangere (Canturk et al., 2020) sowie für nicht adipöse (Arzola et al., 2007a, Perna et al., 2017) und adipöse Schwangere (Balki et al., 2009, Canturk et al., 2019, Sahota et al., 2013, Vallejo et al., 2010) gezeigt wurde. Diese Korrelation war unabhängig davon, ob die anteriore (Arzola et al., 2007a, Balki et al., 2009, Vallejo et al., 2010) oder, wie in der vorliegenden Studie, die posteriore Begrenzung (Canturk et al., 2019, Perna et al., 2017, Sahota et al., 2013) des posterioren Komplexes als Messgrenze für die peridurale Punktionstiefe gewählt wurde. So kann die erwartete Punktionstiefe zur Planung der periduralen Punktion herangezogen werden.

Für das schwangere Patientenklientel ergab sich ein signifikanter Zusammenhang von erwarteter Tiefe des Periduralraumes und Body-Mass-Index (Balki et al., 2009), Gewicht und Body-Mass-Index bei Sectio (Bassiakou et al., 2011, Canturk et al., 2019, Madhi et al., 2018), Patientengröße (Bassiakou et al., 2011) und Bauchumfang (Canturk et al., 2019).

BMI bei Sectio und Körpergröße wurden in einer großen RCT für ein Patientenklientel mit 370 adipösen Schwangeren ($\text{BMI } 32 \text{ kg/m}^2$) als Prädiktoren für die erwartete peridurale Punktionstiefe beschrieben (Vallejo et al., 2010). Eingesetzt in die Regressi-

onsgleichung ergab dies für die Epidurale Tiefe (cm) = $6,63 - [(0,07 \times \text{Height (in)}) + (0,002 \times \text{Weight (lbs)})]$. Der BMI korrelierte positiv mit der Tiefe des Periduralraumes, die Körpergröße negativ, d.h. je größer die Patientin ist, umso geringer wird die Tiefe. Singh machte sich diese Gleichung (EDE = epidural depth equation) zunutze, errechnete hiermit bei 160 Schwangeren mit Adipositas Grad III ($> 40 \text{ kg/m}^2$) vor dem präinterventionellem transversalen Ultraschall die Punktionstiefe, so dass sensibilisierter sonographiert werden konnte (Singh et al., 2013). Mithilfe dieser präinterventionellen Vorbereitung konnte er für dieses Patientenkielentel zeigen, dass die Korrelation zwischen erwarteter und tatsächlicher Punktionstiefe höher war als bei Balki et al., 2009, der ein ebenfalls übergewichtiges, aber leichteres Patientenkielentel (BMI 40 kg/m^2) untersucht hat ($r = 0,899$ versus $r = 0,85$), dem präinterventionell aber nur die erwartete Punktionstiefe aufgrund des Sonographiebefundes zur Verfügung stand, nicht aber die Berechnung dieser mittels Regressionsgleichung (EDE).

Clinkscales et al. konnten bei 2009 adipösen Schwangeren (BMI $31,5 \pm 6,2 \text{ kg/m}^2$ bei Geburt) ebenfalls den BMI als signifikanten Prädiktor, allerdings für die tatsächliche Tiefe des Periduralraumes (durchschnittlich $5,3 \pm 1,21 \text{ cm}$), herausarbeiten ($p < 0,0001$, F Statistik= 207,2, df 6, $R^2=0,3831$). Für die Schwangerschaftswoche stellten auch sie keine Assoziation zur Punktionstiefe heraus (Clinkscales et al., 2007).

Canturk et al. (2019) konnten in einer prospektiven Beobachtungstudie an 130 Schwangeren, die eine Sectio in CSE erhielten, eine signifikante Korrelation zwischen erwarteter epiduralen Punktionstiefe im transversalen Ultraschall und BMI ($r = 0,542$, $p < 0,001$), Gewicht ($r = 0,593$, $p < 0,001$) und Bauchumfang ($r = 0,797$, $p < 0,001$) darstellen. Zu Körpergröße und Alter konnten auch sie, entsprechend unserer Auswertung, keine Assoziation feststellen. Der Bauchumfang erwies sich als aussagekräftigster Prädiktor für ihr Patientenkielentel, ein Parameter, den wir nicht untersucht haben.

Sharma et al., 2011 konnten in einer großen prospektiven Beobachtungsstudie in Großbritannien mit 1210 Schwangeren die Ethnizität und den BMI als prädiktiv für die Tiefe der PDA herausarbeiten. Asiatische und chinesische Patientinnen hatten eine signifikant niedrigere Tiefe des Periduralraumes als die britischer Patientinnen mit schwarzer und weißer Hautfarbe.

Der BMI ist eine häufig untersuchte Einflussgröße, die sich weltweit als signifikanter Prädiktor für die Tiefe des Periduralraumes bei schwangeren Patientinnen darstellt, wie auch in der hier vorliegenden Studie für ein universitäres schwangeres Patientenklientel herausgearbeitet wurde. In Kombination mit der im präinterventionellen Ultraschall vermessenen Tiefe des Periduralraumes geben sie jedem Punktierenden hilfreiche Informationen, um mit der LOR-Technik sensibilisiert auf diesen Raum zuzusteuern.

Denn gerade die Identifizierung des periduralen Raumes mittels LOR-Technik ist durch schwangerschaftsbedingte hormonelle Umstellungen, die die ligamentären Strukturen weicher werden lassen, erschwert. Präinterventioneller Ultraschall reduziert die Katheterfehlage in der Geburtshilfe mit einer NNT (Number needed to treat) von 26, ohne die Zeit bis zur geburtshilflichen Intervention zu verlängern (Vallejo et al., 2010). Das heißt, wenn 26 Mal präinterventionell sonographiert wird, reduziert sich die Misserfolgsrate um 1. Eine Katheterfehlage mit unzureichender bis fehlender Schmerzausschaltung aufgrund eines verfrühten LOR bei weichen interspinalen Bändern kann gravierende Folgen für den Geburtsablauf haben und in einer Notsectio enden. Nicht nur der verfrühte LOR mit konsekutiver Katheterfehlplatzierung kann durch die präinterventionell ermittelte Tiefe des Periduralraumes verhindert werden, sondern auch die akzidentielle Duraperforation (Grau et al., 2002). Diese kann im weiteren Verlauf mit heftigen postpunktionellen Kopfschmerzen einhergehen, die nur in liegender Position erträglich sind, was die Versorgung des Neugeborenen deutlich erschwert und die postpartale Mutter-Kind Bindung stark in Mitleidenschaft ziehen kann.

Die erwartete Dicke des posterioren Komplexes lag in der vorliegenden Studie durchschnittlich bei 0,42 cm (+/-0,11 cm). Der dickste vermessene Komplex maß 0,82 cm (Tab. 18, Abb. 19). Die relativ große Standardabweichung lässt sich möglicherweise aus der triangulären Struktur des Periduralraumes erklären, wie sie im MRT darstellbar ist (Abb. 7). Je näher der Ultraschall die posteriore Spitze des dreieckigen Raumes trifft, umso dicker imponiert der posteriore Komplex im Sonographiebild. Für den Ungeübten kann die sonographische Darstellung bzw. Abgrenzung der posterioren Komplexes aufgrund der triangulären Struktur erschwert sein.

Für das Patientenkollektiv der vorliegenden Studie konnte ein schwacher linearer Zusammenhang zwischen dem Body-Mass-Index vor Schwangerschaft und der Dicke des posterioren Komplexes gezeigt werden (Abb. 31, Tab. 23 u. 24) und dieser als signifikanter Prädiktor herausgestellt werden (Effektgröße = 0,021, $p < 0,05$), allerdings bei nicht signifikantem Regressionsmodell. Eine Erhöhung des BMI vor Schwangerschaft in die nächsthöhere Gruppe geht möglicherweise mit einer durchschnittlichen Zunahme der Dicke des posterioren Komplexes um 0,21 mm einher (Tab. 31).

Bassiakou et al. (2011) bestimmten die Dicke des posterioren Komplexes bei 332 schwangeren Patientinnen mit vergleichbarem Body-Mass-Index und Gewicht zu unserem Patientenkollektiv, die in CSE elektiv sektioniert wurden. Die Dicke des posterioren Komplexes wurde, anders als bei uns, durch Subtraktion der tatsächlichen Punktionstiefe des periduralen Raumes von der des intrathekalen Raumes errechnet. Mit $0,9 \pm 0,5$ cm differiert dieser in seiner Dicke noch deutlich mehr als bei uns. Die Autoren konnten im Gegensatz zu uns eine signifikante Korrelation zwischen der Dicke des posterioren Komplexes und dem Body-Mass-Index und Gewicht bei Eingriff erkennen. Ultraschall setzten sie nicht ein.

In der vorliegenden Studie wird der präinterventionelle transversale Ultraschall als potentes Hilfsmittel für die Punktionsplanung rückenmarksnaher Anästhesieverfahren herausgearbeitet. Das Froschzeichen unterstützt hierbei die reproduzierbare, verlässliche Darstellung markanter sonoanatomischer Strukturen, die sich symmetrisch um die neuroaxiale Mittellinie anordnen und den Spinal- und Periduralraum begrenzen.

4.1 Limitationen

In der hier vorliegenden Arbeit wurde die Erfolgsrate der Spinal- und Periduralanästhesie nicht untersucht. Zudem habe ich nicht untersucht, ob der präinterventionelle Ultraschall die Patientensicherheit tatsächlich erhöht. Auch habe ich nicht untersucht, ob die präinterventionell ermittelten Punktionstiefen bei meinem Patientenkollektiv mit den tatsächlichen übereinstimmen. Hierzu wäre jeweils ein Vergleichskollektiv nötig gewesen.

Die erwartete Tiefe des periduralen Punktionsraumes wird in der Studie durch Subtraktion der Dicke der posterioren Komplexes von der Tiefe des Spinalraumes berechnet. Der tatsächliche Periduralraum ist aber erst nach Passage des Ligamentum flavum vor der Dura mater posterior zu erreichen. Da im transversalen Ultraschall diese beiden Strukturen als posteriorer Komplex imponieren und nicht voneinander zu trennen sind, ist zu erwarten, dass die tatsächliche Punktionsiefe etwas tiefer als die sonographisch ermittelte liegen muss. Für die Punktion bedeutet dieses, dass nach Erreichen der erwarteten Tiefe des Periduralraumes die Periduralnadel mit größter Vorsicht vorgeschoben werden muss, denn das Ligamentum flavum muss noch passiert werden, ehe der Widerstandsverlust bei der LOR-Technik anzeigt, dass der Periduralraum erreicht ist.

5. Zusammenfassung

Bei dem universitären schwangeren Patientenkollektiv der vorliegenden Studie ist der lumbale Spinalraum fast immer darstellbar. Deshalb ist die lumbale Sonographie gut und verlässlich nutzbar. Als typisches Ultraschallzeichen der lumbalen Sonographie wurde das Froschzeichen herausgearbeitet.

Die Punktionsiefe der Spinalanästhesie ist im Bereich von $5,58 \pm 0,65$ cm zu erwarten, die peridurale Punktionsiefe im Bereich von $5,17 \pm 0,66$ cm. Die erwarteten Punktionsiefen hängen nicht vom Alter und der Körpergröße ab, korrelieren aber stark mit dem Body-Mass-Index. Nur die spinale Punktionsiefe korreliert schwach mit der Schwangerschaftswoche.

Die vorliegende Arbeit erweitert die sonoanatomischen Kenntnisse und bietet eine gute Grundlage, um die neuroaxiale Sonographie bei diesem universitären Patientenkollektiv eines Maximalversorgers anzuwenden.

6. Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Ultraschallbild in transversaler Ebene mit Beschriftung (blaue Kästchen) der Strukturen, die das Froschzeichen bilden: der Processus articularis rechts (re.) und links (li.), der anteriore und der posteriore Komplex. Im weißen Kästchen am unteren linken Bildrand werden die mittels Messtool des Ultraschallgerätes ermittelten Streckenlängen angegeben (siehe 2.4) | 14 |
| Abbildung 2: Ultraschallaufnahme | 15 |
| Abbildung 3: der Frosch..... | 15 |
| Abbildung 4: Visualisierung des Froschzeichens | 15 |
| Abbildung 5: Processus spinosus mit Schallauslöschung (acoustic shadow)..... | 19 |
| Abbildung 6: Transversaler Ultraschall des lumbalen interlaminaeren Raumes mit entsprechender MRT-Aufnahme und Darstellung der sonoanatomisch relevanten Strukturen wie der Processus articulares und des anterioren und posterioren Komplexes (mit freundlicher Genehmigung durch KiJinn.Chin@uhn.ca)..... | 20 |
| Abbildung 7: MRT-Aufnahme mit triangulärer Darstellung des Ligamentum flavum (mit freundlicher Genehmigung durch KiJinn.Chin@uhn.ca)..... | 21 |
| Abbildung 8: Messwerte 1 – 3 im Ultraschall..... | 22 |
| Abbildung 9: Messwerte 1 - 3 schematisch mit Punktionsmaterial | 22 |
| Abbildung 10: Histogramm zur Altersverteilung (Jahre) der schwangeren Patientinnen..... | 33 |
| Abbildung 11: Histogramm zur Verteilung der Körpergröße (cm) der schwangeren Patientinnen..... | 34 |
| Abbildung 12: Histogramm zur Verteilung der Schwangerschaftswoche (Woche) der Studienpatientinnen | 35 |
| Abbildung 13: Histogramm zur Häufigkeitsverteilung des BMI vor Schwangerschaft nach WHO-Einteilung in Gruppe 1 bis 6 für die Studienpatientinnen | 37 |
| Abbildung 14: sonographische Darstellbarkeit des Spinalraumes (%) im transversalen Ultraschall..... | 39 |
| Abbildung 15: Boxplot-Diagramm mit dem erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) im transversalen Ultraschall..... | 40 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 16: Balkendiagramm zur Verteilung der Noten (Schulnoten) für die Darstellbarkeit des Froschzeichens (%) im transversalen Ultraschall. Bis einschließlich der Note befriedigend ist das Froschzeichen in guter Qualität abgebildet | 41 |
| Abbildung 17: Boxplot-Diagramm mit der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall | 42 |
| Abbildung 18: Boxplot-Diagramm mit der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall..... | 43 |
| Abbildung 19: Boxplot-Diagramm mit der erwarteten Dicke des posterioren Komplexes (cm) im transversalen Ultraschall..... | 44 |
| Abbildung 20: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre) | 45 |
| Abbildung 21: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm)..... | 46 |
| Abbildung 22: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche) | 46 |
| Abbildung 23: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe) | 47 |
| Abbildung 24: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre) | 49 |
| Abbildung 25: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm) | 50 |
| Abbildung 26: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche).. | 50 |
| Abbildung 27: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der erwarteten Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe)..... | 51 |
| Abbildung 28: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre) | 53 |
| Abbildung 29: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm) | 54 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 30: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche)..... | 54 |
| Abbildung 31: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe)..... | 55 |
| Abbildung 32: Boxplot-Diagramm zur Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre)..... | 57 |
| Abbildung 33: Boxplot-Diagramm zur Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm) | 58 |
| Abbildung 34: Boxplot-Diagramm zur Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche)..... | 58 |
| Abbildung 35: Boxplot-Diagramm zur Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe)..... | 59 |
| Abbildung 36: Boxplot-Diagramm zur Darstellung des Durchmessers des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit vom Alter (Jahre) | 61 |
| Abbildung 37: Boxplot-Diagramm zur Darstellung des Durchmessers des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit von der Körpergröße (cm)..... | 62 |
| Abbildung 38: Boxplot-Diagramm zur Darstellung des Durchmessers des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit von der Schwangerschaftswoche (Woche) | 62 |
| Abbildung 39: Boxplot-Diagramm zur Darstellung des Durchmessers des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit vom Body-Mass-Index vor Schwangerschaft (Gruppe) ... | 63 |

7. Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Punkteverteilung für die sonoanatomischen Strukturen Processus articularis, posteriorer und anteriorer Komplex in der transversalen Ultraschallebene | 23 |
| Tabelle 2: BMI-Klassifikation der WHO und Einteilung der Gruppen | 25 |
| Tabelle 3: Korrelationskoeffizienten (r) nach Cohen zur Beschreibung der Stärke eines linearen Zusammenhangs zweier Variablen (Cohen, 1988) | 27 |
| Tabelle 4: Interpretation von R^2 nach Cohen zur Beschreibung der aufgeklärten Varianz des Regressionsmodells (Cohen, 1988) | 28 |
| Tabelle 5: Anteil der Regionalanästhesie zur Geburt (Fallzahl und %), unterteilt in Spinal- und Periduralanästhesie, in den Jahren 2011 bis 2013. Die Geburten sind gegliedert in Spontangeburt und Sectiones (Fallzahl und %) | 29 |
| Tabelle 6: Interventionen in ultraschallunterstützter Regionalanästhesie verteilt auf die Studienjahre 2011 bis 2014; 189 der 221 präinterventionellen Ultraschallaufnahmen, was einem Anteil von 86% entspricht, erfolgten vor Anlage einer Spinalanästhesie zur Sectio (blaue Markierung) | 30 |
| Tabelle 7: Anteil des präinterventionellen Ultraschalls vor Regionalanästhesie zur Geburt in 2012 und 2013 | 31 |
| Tabelle 8: deskriptive Statistik zum Alter (Jahre) der schwangeren Studienpatientinnen | 32 |
| Tabelle 9: deskriptive Statistik zur Körpergröße (cm) der schwangeren Studienpatientinnen | 33 |
| Tabelle 10: deskriptive Statistik für die Schwangerschaftswoche (Woche) der Studienpatientinnen | 34 |
| Tabelle 11: Mittelwerte der vier gewichtsbezogenen Einflussgrößen mit ihren Standardabweichungen sowie Minimum und Maximum und der sich daraus ergebenden Varianz. Die Ergebnisse für den BMI vor Schwangerschaft (kg/m^2), der die Haupteinflussgröße bezogen auf das Körpergewicht (kg) darstellt, sind blau hinterlegt. | 36 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 12: Häufigkeitsverteilung (in Fällen und %) der BMI-Gruppen bezogen auf den BMI vor Schwangerschaft (kg/m^2) nach WHO-Einteilung für die Studienpatientinnen | 36 |
| Tabelle 13: Altersabhängige Verteilung von Größe (m), Gewicht (kg) und BMI (kg/m^2) unseres Patientenkollektivs im Vergleich zu Ergebnissen des Mikrozensus 2017 des Statistischen Bundesamtes. Die Hauptaltersgruppe zwischen 20 und 45 Jahren des Statistischen Bundesamtes und der Studienpatientinnen ist blau markiert. | 38 |
| Tabelle 14: deskriptive Statistik für den erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) im transversalen Ultraschall..... | 40 |
| Tabelle 15: deskriptive Statistik für die Note des Froschzeichens (Schulnoten) | 40 |
| Tabelle 16: deskriptive Statistik für die erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall..... | 41 |
| Tabelle 17: deskriptive Statistik für die erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall..... | 42 |
| Tabelle 18: deskriptive Statistik für die erwartete Dicke des posterioren Komplexes (cm) im transversalen Ultraschall..... | 43 |
| Tabelle 19: Werte der deskriptiven Statistik für die erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe) | 48 |
| Tabelle 20: Pearson-Korrelation (r = Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p -Wert) für die erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall..... | 48 |
| Tabelle 21: Werte der deskriptiven Statistik für die erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe) | 51 |
| Tabelle 22: Pearson-Korrelation (r = Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p -Wert) für die erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall..... | 52 |
| Tabelle 23: Werte der deskriptiven Statistik für die erwartete Dicke des posterioren Komplexes (cm) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe)..... | 56 |
| Tabelle 24: Pearson-Korrelation (r = Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p -Wert) für die erwartete Dicke des posterioren Komplexes (cm) im transversalen Ultraschall..... | 56 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 25: Werte der deskriptiven Statistik für die Note des Froschzeichens (Schulnote) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe) | 60 |
| Tabelle 26: Pearson-Korrelation (r = Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p -Wert) für die Note des Froschzeichens (Schulnote)..... | 61 |
| Tabelle 27: Werte der deskriptiven Statistik für den erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) in Abhängigkeit vom BMI vor Schwangerschaft (Gruppe)..... | 64 |
| Tabelle 28: Pearson-Korrelation (r = Korrelationskoeffizient) mit entsprechender Signifikanz (p -Wert) für den erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) im transversalen Ultraschall..... | 64 |
| Tabelle 29: Regressionsmodell für die erwartete Punktionstiefe der Spinalanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall. Aufgelistet sind der nicht standardisierte und der standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p -Wert)..... | 65 |
| Tabelle 30: Regressionsmodell für die erwartete Punktionstiefe der Periduralanästhesie (cm) im transversalen Ultraschall. Aufgelistet sind der nicht standardisierte und der standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p -Wert). | 66 |
| Tabelle 31: Regressionsmodell für die erwarteten Dicke des posterioren Komplexes (cm) im transversalen Ultraschall. Aufgelistet sind der nicht standardisierte und der standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p -Wert)..... | 67 |
| Tabelle 32: Regressionsmodell für die Note des Froschzeichens (Schulnote). Aufgelistet sind der nicht standardisierte und der standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p -Wert). | 68 |
| Tabelle 33: Regressionsmodell für den erwarteten Durchmesser des Spinalraumes (cm) im transversalen Ultraschall. Aufgelistet sind der standardisierte und der nicht standardisierte Koeffizient mit seinem Standardfehler und entsprechender Signifikanz (p -Wert)..... | 69 |

8. Literaturverzeichnis

Anim-Somuah M, Smyth RM, Cyana AM, Cuthbert A. Epidural versus non-epidural or no analgesia for pain management in labour. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018 May 21; 5(5): CD000331. doi: 10.1002/14651858.CD000331.pub4.

Arzola C, Davies S, Rofaeel A, Carvalho JCA. Anthropometric variables and lumbar sac width using ultrasound. *Can J Anaesth* 2006; 53: 26291

Arzola C, Davies S, Rofaeel A, Carvalho JCA. Ultrasound using the transverse approach to the lumbar spine provides reliable landmarks for labor epidurals. *Anesth Analg* 2007a; 104(5): 1188–1192

Arzola C, Balki M, Carvalho JCA. The antero-posterior diameter of the lumbar dural sac does not predict sensory levels of spinal anaesthesia for cesarean delivery. *Can J Anaesth* 2007 b; 54(8): 620-625

Balki M, Lee Y, Halpern S, Carvalho JC. Ultrasound imaging of the lumbar spine in the transverse plane: The correlation between estimated and actual depth to the epidural space in obese parturients. *Anesth Analg* 2009; 108: 1876-1881

Balki M. Locating the epidural space in obstetric patients- ultrasound a useful tool: Continuing Professional Development. *Can J Anesth* 2010; 57: 1111-1126

Bassiakou E, Valsamidis D, Loukeri A, Karathanos A. The distance from the skin to the epidural and subarachnoid spaces in parturients scheduled for caesarean section. *Minerva Anesthesiol* 2011; 77: 154-159

Bhatia K, Kochhar P, Clegg I, Maguire S. The availability and use of ultrasound in UK obstetric anaesthesia. *Int J Obstet Anesth* 2016; 25: 91-92

Bjoernwalther.com, 2018: Lineare Regression-welche Ergebnisse muss ich berichten? <https://www.youtube.com/watch?v=m2xPbIHhMtE> (Zugriffsdatum 1.11.2021)

Boselli E, Hopkins P, Lamperti M., Estebe J-P, Fuzir R, Biasucci D, Disma N, Pittiruti M, Traskaite V, Macas A, Breschan C, Vailati D, Subert M. European Society of Anaesthesiology and Intensive Care Guidelines on peri-operative use of ultrasound for regional anaesthesia (PERSEUS regional anaesthesia): peripheral nerves blocks and neuraxial anaesthesia). *Eur J Anaesthesiol* 2021; 38: 219-250

Brosius F. *SPSS 20*. Weinheim: Wiley-VCH, 2012

Buddenberg BS, Bandschapp O, Girard T. Post-dural puncture headache. *Minerva Anesthesiol* 2019; 85(5): 543-553

Canturk M, Karbancioglu Canturk F, Kocaoğlu N, Hakki M. Abdominal girth has a strong correlation with ultrasound-estimated epidural depth in parturients: a prospective observational study. *J Anesth* 2019; 33(2): 273–278

Canturk M, Kocaoğlu N, Hakkı M. Preprocedural ultrasound estimates of epidural depth: Transverse median plane is comparable to paramedian sagittal oblique plane in non-pregnant patients. *Turk J Anaesthesiol Reanim* 2020; 48(1): 31-37

Carvalho JCA. Ultrasound-facilitated epidurals and spinals in obstetrics. *Anesthesiol Clin* 2008; 26(1): 145-158

Chekol B, Yetneberk T, Teshome D. Prevalence and associated factors of post dural puncture headache among parturients who underwent cesarean section with spinal anesthesia: A systemic review and metaanalysis. *Annals of Medicine and Surgery* 2021; 66: 102456

Chin KJ, Karmakar MK, Peng P. Ultrasonography of the adult thoracic and lumbar spine for central neuraxial blockade. *Anesthesiology* 2011a; 114(6): 1459-1485

Chin KJ, Perlas A, Chan V, Brown-Shreves D, Koshkin A, Vaishnav V. Ultrasound imaging facilitates spinal anesthesia in adults with difficult surface anatomic landmarks. *Anesthesiology* 2011 b; 115(1): 94-101

Choi PT, Galinski SE, Takeuchi L, Lucas S, Tamayo C, Jadad AR. PDPH is a common complication of neuraxial blockade in parturients: a meta-analysis of obstetrical studies. *Can J Anaesth* 2003; 50: 460-469

Clinkscales CP, Greenfield MLVH, Vanarase L, Polley LS. An observation study of the relationship between lumbar epidural space depth and body mass index in Michigan parturients. *Int J Obstet Anesth* 2007; 16: 323-327

Cohen J. *Statistical power analysis for behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: L.Erlbaum Associates, 1988

Creaney M, Mullane D, Casby C, Tan T. Ultrasound to identify the lumbar space in women with impalpable bony landmarks presenting for elective caesarean delivery under spinal anaesthesia: a randomised trial. *Int J Obstet Anesth* 2016; 28: 12-16

de Oliveira Filho GR, Gomes HP, Da Fonseca MHZ, Hoffman JC, Pederneiras SG, Garcia JHS. Predictors of successful neuraxial block: A prospective study. *Eur J Anaesthesiol* 2002; 19(6): 447-451

Dhanger S, Vinayagam S, Vaidhyanathan B, Rajesh IJ, Tripathy DK. Comparison of landmark versus pre-procedural ultrasonography-assisted midline approach for identification of subarachnoid space in elective caesarean section: A randomised controlled trial. *Indian J Anaesth* 2018; 62(4): 280-284

Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI, 2020). S1-Leitlinie: Die geburtshilfliche Analgesie und Anästhesie.

https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/001-038l_S1_Die-geburtshilfliche-Analgesie-und-Anaesthesie_2020-03.pdf (Zugriffsdatum 9.02.2022)

Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe (DGGG, 2020). S3-Leitlinie: Sectio caesarea.

https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/015-084l_S3_Sectio-caesarea_2020-06_1_02.pdf (Zugriffsdatum 9.02.2022)

Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe (DGGG, 2021). S3-Leitlinie: Vaginale Geburt am Termin.

https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/015-083k_S3_Vaginale-Geburt-am-Termin_2021-01_1.pdf (Zugriffsdatum 8.02.2022)

Ekinci M, Alici HA, Ahiskalioglu A, Ince I, Aksoy M, Celik EC, Dostbil A, Celik M, Baysal PK, Golboyu BE, Yeksan AN. The use of ultrasound in planned cesarean delivery under spinal anesthesia for patients having nonprominent anatomic landmarks. *J Clinical Anesthesia* 2017; 37: 82-85

Gnaho A, Nguyen V, Villevielle T, Frota M, Marret E, Gentili ME. Assessing the depth of the subarachnoid space by ultrasound. *Rev Bras Anesthesiol* 2012; 62(4): 520-530

Grau T, Leipold RW, Horter J, Conradi R, Martin E, Motsch J. The lumbar epidural space in pregnancy: visualization by ultrasonography. *Br J Anaesth* 2001; 86(6): 798-804

Grau T, Leipold RW, Conradi R, Martin E, Motsch J. Efficacy of ultrasound imaging in obstetric epidural anesthesia. *J Clin Anesth* 2002; 14(3): 169–175.

Gulay U, Turkay M, Nadir SS, Aysin, A. Ultrasound-guided evaluation of the lumbar subarachnoid space in lateral and sitting positions in pregnant patients to receive elective cesarean operation. *Pak J Med Sci* 2014; 31(1): 76-81

Hemmerich WA, 2015-2021a: StatistikGuru Version 1.96,
<https://statistikguru.de/spss/produkt-moment-korrelation/ergebnisse-interpretieren.html>
(Zugriffsdatum 26.10.2021)

Hemmerich WA, 2015-2021b: StatistikGuru Version 1.96,
<https://statistikguru.de/spss/multiple-lineare-regression/regressionskoeffizienten-interpretieren.html> (Zugriffsdatum 26.10.2021)

Jiang L, Zhang F, Wei N, Lv J, Chen W, Dai Z. Could preprocedural ultrasound increase the first-pass success rate of neuraxial anesthesia in obstetrics? A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Anesth* 2020; 34: 434-444

Kalagara H., Nair H, Kolli S, Thota G, Uppal V. Ultrasound imaging of the spine for central neuraxial blockade: a technical description and evidence update. *Current Anaesthesiology Reports* 2021; 11: 326-339

Karmakar MK, Li X, Kwok WH, Ho AMH, Ngan Kee WD. Sonoanatomy relevant for ultrasound-guided central neuraxial blocks via the paramedian approach in the lumbar region. *British Journal of Radiology* 2012; 85(1015): 262-269

Keplinger M, Marhofer P, Eppel W, Macholz F, Hachemian N. Karmakar MK, Marhofer D, Klug W, Kettner SC. Lumbar neuraxial anatomical changes throughout pregnancy: a longitudinal study using serial ultrasound scans. *Anaesthesia* 2016; 71: 669-674

Kozanhan B, Bardak O, Tutar MS, Ozler S, Yildiz M, Solak I. The influence of body roundness index on sensorial block level of spinal anaesthesia for elective caesarean section: an observational study. *J Obstet Gynaecology* 2020; 40(6): 772-778

Li M, Ni X, Xu Z, Shen F, Song Y, Li Q, Liu Z. Ultrasound-Assisted Technology Versus the Conventional Landmark Location Method in Spinal Anesthesia for Cesarean Delivery in Obese Parturients: A Randomized Controlled Trial. *Anesth Analg* 2019; 129(1): 155-161

Madhi S, Al-Saaed, Ali SM, Al-Rekaby MR, Jawed HB. Distance from the skin to the lumbar epidural space in Basrah obstetric population. *Int J Sci Res* 2018; 7(5): 710-714
Matava C, Hayes J. A survey of ultrasound use by academic and community anaesthesiologists in Ontario. *Can J Anaesth* 2011; 58: 929-935

Narkhede H, Kane D, Parekh V, Hemantkumar I. A cohort study of anatomical landmark-guided midline versus pre-procedure ultrasound-guided midline technique of spinal anesthesia in elderly patients undergoing orthopedic surgery. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol* 2019;35: 522-527

National Institute for Health and Care Excellence (NICE) 2008. Ultrasound guided catheterisation of epidural space: understanding.

<https://www.nice.org.uk/guidance/ipg249/chapter/2-The-procedure> (Zugriffsdatum 19.02.2022)

Pan PH, Bogard TD, Owen MD. Incidence and characteristics of failures in obstetric neuraxial analgesia and anesthesia: A retrospective analysis of 19,259 deliveries. *Int J Obstet Anesth* 2004; 13(4): 227-233

Park SK, Bae J, Yoo S, Kim WH, Lim YJ, Bahk JH, Kim JT. Ultrasound-assisted versus landmark-guided spinal anesthesia in patients with abnormal spinal anatomy: A randomized controlled trial. *Anesth and Analg* 2020; 130(3): 787–795

Perinatalerhebung, 2015: Bundesauswertung zur Erfassung 2015

https://iqtig.org/downloads/auswertung/2015/16n1gebh/QSKH_16n1GEBH_2015_BUA_W_V02_2016-07-07.pdf (Zugriffsdatum 23.10.2021)

Perlas A, Chaparro LE, Chin KJ. Lumbar neuraxial ultrasound for spinal and epidural anesthesia: a systemic review and meta-analysis. *Reg Anesth Pain Med* 2016; 41: 251-260

Perna P, Gioia A, Ragazzi R, Volta CA, Innamorato M. Can pre-procedure neuroaxial ultrasound improve the identification of the potential epidural space when compared with anatomical landmarks ? A prospective randomized study. *Minerva Anesthesiol* 2017; 83(1): 41-49

Rajagopalan S, Shah K, Guffey D, Tran C, Suresh M, Wali A. Predictors of difficult epidural placement in pregnant women: a trainee's perspective. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol* 2019; 35(4): 548-552

Razavizadeh MR, Fazel MR, Mosavi M, Sehat M. The relationship between patients' anthropometric characteristics and depth of spinal needle insertion. *Anesth Pain Med* 2016; 6(2): 1-5

Sahin T, Balaban O, Sahin L., Solak M, Toker K. A randomized controlled trial of preinsertion ultrasound guidance for spinal anaesthesia in pregnancy: outcomes among

obese and lean parturients. *J Anesth* 2014; 28: 413-419

Sahin T, Balaban O. Lumbar ultrasonography for obstetric neuraxial blocks: sonoanatomy and literature review. *Turk J Anaesthesiol Reanim* 2018; 46(4): 257-257

Sahota JS, Carvalho JCA, Balki M, Fanning N, Arzola C. Ultrasound estimates for midline epidural punctures in the obese parturient: Paramedian sagittal oblique is comparable to transverse median plane. *Anesth Analg* 2013; 116(4): 829-835

Sharma V, Swinson AK, Hughes C, Mokashi S, Russell R. Effect of ethnicity and body mass index on the distance from skin to lumbar epidural space in parturients. *Anaesthesia* 2011; 66: 907-912

Sicard JA, Forestier J. Radiographic method for exploration of the extradural space using lipiodol. *Rev Neurol* 1921; 28: 1264-1266

Singh S, Wirth KM, Phelps AL, Badve MH, Shah TH, Vallejo MC. Epidural catheter placement in morbidly obese parturients with the use of an epidural depth equation prior to ultrasound visualization. *Scientific World Journal*; 2013: 1-6

Sng BL, Tan M, Yeoh CJ, Han N-LR, Sultana R, Assam P.N., Sia AT. Incidence and risk factors for epidural re-sitting in parturients with breakthrough pain during labour epidural analgesia: a cohort study. *Int J Obstet Anesth* 2018; 34: 28-36

Statistisches Bundesamt, 2018: Mikrozensus-Fragen zur Gesundheit.

https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Gesundheitszustand-Relevantes-Verhalten/Publikationen/Downloads-Gesundheitszustand/koerpermasse-5239003179004.pdf?__blob=publicationFile (Zugriffsdatum 26.10.2021)

Statistisches Bundesamt, 2021: Krankenhausentbindungen in Deutschland.

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Tabellen/krankenhausentbindungen-kaiserschnitt.html> (Zugriffsdatum 26.10.2021)

Stiffler KA, Jwayed S, Wilber ST, Robinson A. The use of ultrasound to identify pertinent landmarks for lumbar puncture. *American Journal of Emergency Medicine* 2007; 25(3): 331-334

Sung T-Y, Jee Y, You H-J, Cho C-K. Comparison of the effect of general and spinal anesthesia for elective section on maternal and fetal outcomes: a retrospective cohort study. *Anesth Pain Med (Seoul)* 2021; 16(1): 49-55

Tong HC, Carson JT, Haig AJ, Quint DJ, Phalke VR, Yamakawa KSJ, Miner JA. Magnetic resonance imaging of the lumbar spine in asymptomatic older adults. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2006; 19(2–3): 67–72

Tubinis MD, Lester SA, Schlitz CN, Morgan CJ, Sakawi Y, Powell MF. Utility of ultrasonography in identification of midline and epidural placement in severely obese parturients. *Minerva Anesthesiol* 2019; 85(10): 1089-1096

Turkstra TP, Marmai KL, Armstrong KP, Kumar K, Singh SI. Preprocedural ultrasound assessment does not improve trainee performance of spinal anesthesia for obstetric patients: a randomized controlled trial. *J Clinical Anesthesia* 2017; 37: 21-24

Uyel Y, Kilicaslan A. Preprocedural ultrasonography versus landmark-guided spinal anesthesia in geriatric patients with difficult anatomy: A prospective randomized trial. *Eurasian J Med* 2021; 53(1): 9–14

Vallejo MC, Phelps AL, Singh S, Orebaugh SL, Sah N. Ultrasound decreases the failed labor epidural rate in resident trainees. *Int J Obstet Anesth* 2010; 19(4): 373-378

Young B, Onwochei D, Desai N. Conventional landmark palpation vs. preprocedural ultrasound for neuraxial analgesia and anaesthesia in obstetrics - a systemic review and meta-analysis with trial sequential analyses. *Anaesthesia* 2021; 76: 818-831

9. Danksagung

Ich danke herzlich Herrn Prof. Dr. med. Stefan Weber für die Bereitstellung des Themas und die wertvolle Anregung zum Studienaufbau. Mit seiner wissenschaftlichen Expertise hat er mir sehr geholfen, die Fakten meiner Arbeit auf den Punkt zu bringen.

Außerdem möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. med. Maria Wittmann für die ehrlichen Worte beim Korrekturlesen bedanken. Neben ihrer Aufbauarbeit hat auch ihre Kritik dazu beigetragen, dass die Arbeit neben formaler auch inhaltlicher Bewertung standhalten kann.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. Leonie Weinhold und meinem Neffen Robin, auf deren statistische Expertise ich mehrfach zurückgreifen durfte.

Meinem Ehemann Erik und meinen Kindern danke ich von Herzen für ihre Motivation und Unterstützung, die maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Ein besonderes Dankeschön geht speziell an meine kreative Tochter Nele, die den Frosch illustriert hat, sowie an meinen Sohn Max, der mich in die systematische Literaturrecherche eingeführt hat.