ZAHNKLINIK

Nachhaltigkeit

> Minimieren von Risiken
> Innovationsantrieb
> ↓ Betriebskosten
> Mitarbeitermotivation
> Investoren
> Beziehungen pflegen

WANNENPOLYMERISATION

LERNZIEL

- Funktionsprinzip
  - WP
  - Polyjetverfahren
- Wertreiber
- Vorteile

GRUNDLAGEN

VORTEILE

> hoher Individualisierungsgrad
> komplexe Geometrie
> Dezentralisierung der Fertigung
  > am Klinikum → direkte Behandlung

> Bauzeit + Kosten
> Aufwand gering
> Nutzen und Wert ↑

Materialien

> Plastik
> Metalle
> Keramik
> Harze
> Bunosteln

STEREOLITHOGRAFIE

> 1986 (Charles Hull)
> SL / SLA
> Klasse 2A (30 Tage)

Rapid Manufacturing

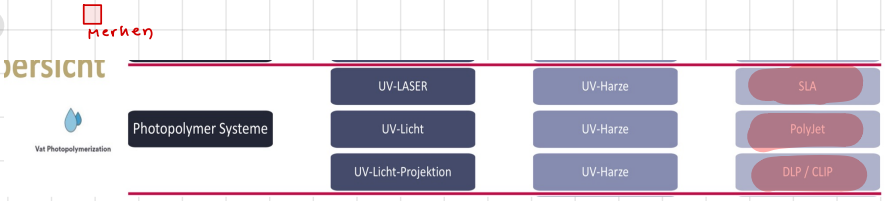
> Wärmeableitung

VPP - wannenpolymerisation

▷ Aushärten des UV-sensitiven Resins
↳ schichtweise (mit UV Lichtquelle) / Laserpunkt

▷ Bauraum erwärmt → Fließfähigkeit

Verfahren



SLA: (Stereolithography)
- UV-LASER
> Cutting Guides, Schablonen
> Treppenstufeneffekt
↳ Schichtstärke & Bauposition

DLP: (Direct Light Processing)
- UV-Licht-Projektion
> Treppenstufeneffekt
↳ Schichtstärke & Bauposition

CLIP:
(continuous liquid interface Production)
▷ mit einer konstanten Kraft nach oben
▷ sauerstoff permeable Membran
↳ polymer kann nicht aushärten

▷ kurze Prozessdauer
▷ kaum Treppenstufeneffekt

LCD:
(Liquid crystal display)

PROZESS

1. Stützstruktur
- verbindung
- punktuelle Anbindung
- Ausrichtung!

2. Druckvorbereitung / Slicing

3. Nachbehandlung / post-processing
isopropanolbad + Nachhärten (UV-Licht)

Prozessparameter

▷ Schichthöhe → z-Richtung
↑ hoch = Treppenstufeneffekt

▷ Baugeschwindigkeit

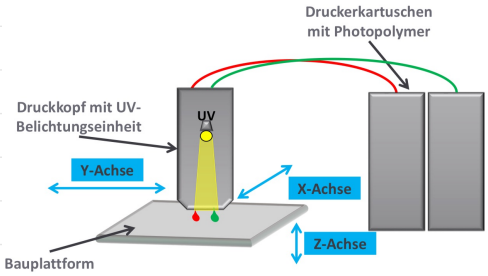
▷ Bauteilausrichtung
↳ Qualität & Bauzeit

PJM - Photopolymerisation

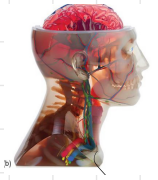
PolyJet

↳ keine Medizinischenprodukte

1. lichthärtende Tinte
   ↳ in Tropfen aus Druckerdrüsen abgegeben
2. durch LED-Leuchte ausgehärtet
3. Düsen bewegen in xy-Ebene
   → mehrere Schichten = 3D-Objekt



→ farbige Objekte möglich



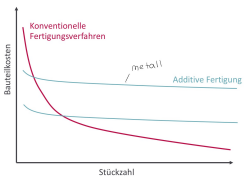
▷ Multi-Jet: eine Düse => kann mehrere Materialien nutzen/herstellen

VOR / NACHTEIL

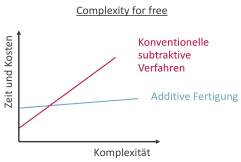
Wannen-poly	> hohe Auflösung > geringe Kosten > Oberflächqualität > schnell	> Post-Processing > Stützstrukturen > UV-sensibel Materialien
Polyjet	> hohe Auflösung > Oberflächenqualität > andere Materialien	> hohe Kosten > kein Medizinprodukt zugel. > ↓ Geschwindigkeit

Warum eignet sich AF für Med. Anwendungen? ☐ Merken

- ▷ hoher Individualisierungsgrad
- ▷ niedrige Stückzahl
- ▷ Dezentralisiert
- ▷ komplexe Geometrie



- ▷ Bauzeiten / Kosteneffizenz



Nutzen:

- ▷ Reduktion der Stückkosten (um rund 45 %)

ZSMF von AF:

- AF sind nutzen steigern / Aufwand verringert
- Bauteilkosten -> abhängig von Bauteilhöhe
- komplexe Geometrien + kleine Stückzahlen

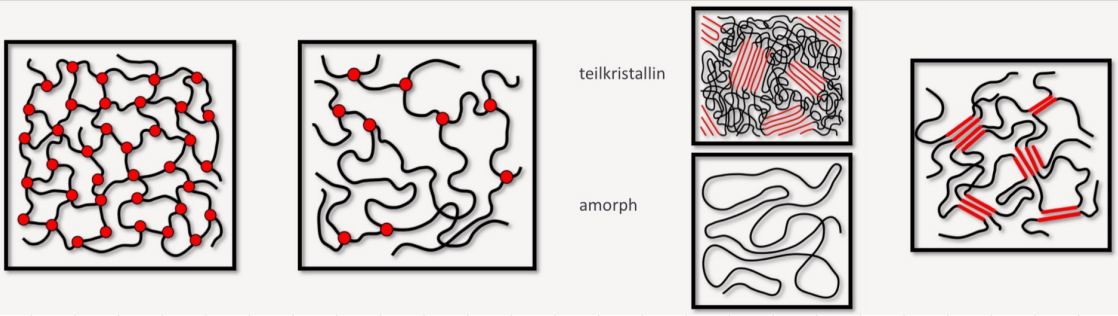
POLYMERE - Thermoplast

LERNZIEL

> MEX (Material Extrusion)
> Unterscheidung von Polymeren
> Verfahrensparameter bei MEX
> MEX Polymere

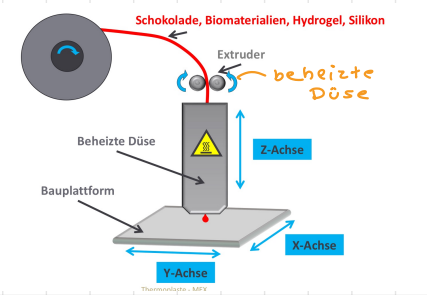
Polymerwerkstoffe

Duromere	Elastomere	Thermoplaste	Thermoplastische Elastomere
engmaschig/ stark vernetzt	weitmaschig/ schwach vernetzt	nicht vernetzt	weitmaschig vernetzt
spröde, hart, temperaturbeständig, nicht verformbar	dehnbar, elastisch	verformbar, **schmelzbar**	elastisch, **schmelzbar**



Material Extrusion

L, AF: geschmolzenes Polymer durch beheizte Düse, schichtweise auf ein Bauplattform



Vorraussetzung:

- Thermoplasten
- kontrollierbare Schmelz + Abkühlung eigenschaften + bedingungen

MEX / FLM / FFF / FDM

merken

MEX Fährt Langsam zu FFF

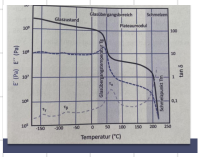
fridays for futulre

Ziele des Drucks

- mechanische Stabilität
- Geometrische Präzision
- Ges chw.
- Preis

Einflussfaktoren (Thermoplast)

- Glasübergangs- (T_g) / Schmelztemp. (T_m)



  - ▷ sind nicht linear
    - ↳ sondern: bei gleichbleibendem Energieeintrag ändert sich der Zustand unterschiedlich schnell
  - ▷ jedes Polymer anders

- Wärmekapazität

- ! Schmelzviskosität ! Merken
  - abhängig: Temp. + Schergeschwindigkeit
  - ↳ zu hoch: druck zu groß in Düse
  - ↳ zu niedrig: tropft aus Extruder

- Verfestigungstemperatur

- Schwindung

Verfahrensparameter Merken

1. Extruder

- Düsentemperatur → muss an Polymer angepasst sein
  - höchster Druck & Temperatur (abfall ↓, Luftzutritt)
    - ↳ zu hoch = Polymerzersetzung

- Düsengeometrie (schichthöhe)
  - Präzision, Geschwindigkeit, Festigkeit
  - max. 3/4 des Düsendurchmesser

- Volumenaustragsgeschw

2. Bauraum

- Bauraumheizung
  - ↳ Temp. nahe Glasübergangstemp = gute Verbindung Schichten

- Bauplattformheizung
  - Haftung + einfaches ablösen

3. Post Processing

- ▷ lösen von Plattform
- ▷ entfernung von Stützstrukturen

Probleme ~ (druckart sehr problemanfällig)

- Haftung an Plattform + zwischen Schichten
- stringing (Fäden zw. den Bauteilen)
- warping (verformung durch abkühlen)
- Unter / Überextrusion (zu viel / zu wenig Material)
- Grinding Filament (Material zu weich)

Unterscheidung Polymere

Hochleistungspolymer

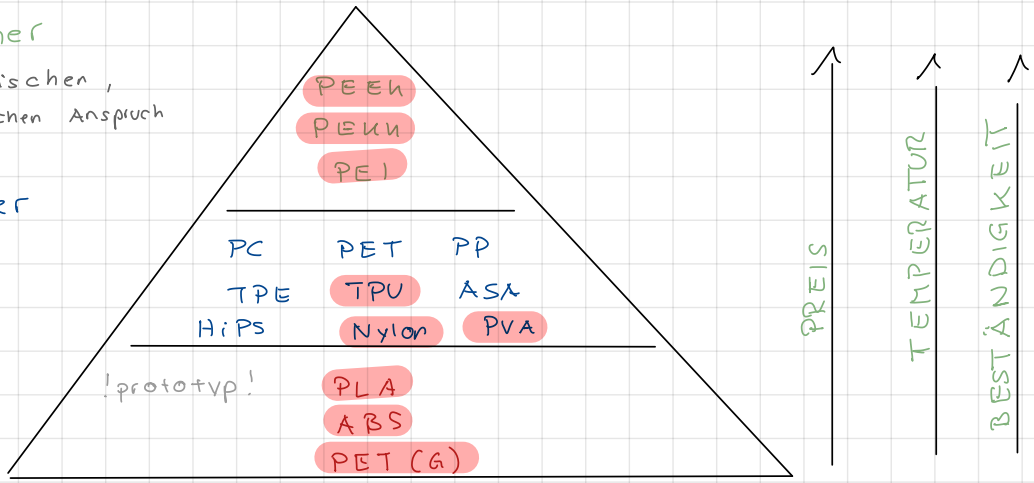
▷ Anw: ↑ hohen mechanischen, thermischen + chemischen Anspruch

Engineering Polymer

▷ struktureller Zweck

Standard Polymer

unkritische Anwend.



STANDARD

Merken

PLA : einfach, günstig, maisstärke
Plastikbecher

ABS : hohe Hitzebeständig, günstig
Klemmbaustein

PET (G): formbeständig
PET Flasche

ENGINEERING

Merken

TPU : thermoplastisch Elastomer (Gummi)

PVA : wasserlöslich, beständig → öl

Nylon : robust, chemikalienresistenz

HOCHLEISTUNG

Merken

PEEK, PEKK, PEI

Nachhaltige Polymere

↳ rPET, PLA
↳ mit Algen, Hanf, Holzfaser
↳ recycled

PLA	ABS	PET(G)
Polylactid (Plastikbecher)	Acrylnitril-Butadien-Styrol (Klemmbausteine)	Polyethylenterephthalat (Glycol) (PET Flaschen)
• Drucktemperatur 210 – 215°C • Betttemperatur 60 °C + formbeständig bis 65 °C + hohe Zugfestigkeit + preisgünstig	• Drucktemperatur 240 – 255 °C • Betttemperatur 100 °C + formbeständig bis 95 °C + preisgünstig + löslich in Aceton + anfällig für UV Strahlen	• Drucktemperatur 230 – 270 °C • Betttemperatur 70 – 90 °C + formbeständig bis 70 °C + gute Schlagfestigkeit
15-25 €/kg	27-35 €/kg	25-30 €/kg

TPU	PVA	Nylon (PA)
Thermoplastisches Polyurethan (Dichtungen)	Polyvinylalkohol	Polyamide PA 11, PA 12
• Drucktemperatur 190 – 250 °C • Betttemperatur 20 – 40 °C + formbeständig bis 80 °C + „thermoplastisches Elastomer" (= Gummi) + Kaum plastische Verformung + beständig gegen Öle, Fette und viele Lösungsmittel – eher teuer	• Drucktemperatur 190 – 220 °C • Betttemperatur 50 – 70 °C • auch BVOH + formbeständig bis 55 °C + Wasserlöslich → Einsatz als Supportmaterial + Beständig gegen Öle, Fette und organische Lösungsmittel – hygroskopisch	• Drucktemperatur 280 – 290 °C • Betttemperatur 100 – 120 °C + formbeständig bis 190 °C + gewebeverträglich + Dimensionsstabil, verschleißfest + Resistenz gegen Chemikalien + Composite mit z.B. Carbon-, Glasfaser – Düse aus Edelstahl – teuer
77 €/kg	170 €/kg	125 €/kg

PEEK	PEKK	PEI
Polyetheretheretherketon (temporäre Implantate)	Polyetherketonketon	Polyetherimid
• Drucktemperatur 400 °C • beheiztes Gehäuse 120 °C • Betttemperatur 230 °C + formbeständig bis 300 °C + hitze- und verschleißfest + chemische Beständigkeit + UV-beständig + sterilisierbar + dielektrisch – teuer	• Drucktemperatur 340 – 360 °C • beheiztes Gehäuse 120 °C • Betttemperatur 230 °C + leichter zu drucken als PEEK + Optisch gutes Erscheinungsbild + gute Verschleiss- und Reibungseigenschaften – teuer	• Drucktemperatur 340 – 360 °C • beheiztes Gehäuse 180 °C • Betttemperatur 230 °C • auch ULTEM® + flammenbeständig, geringe Rauchentwicklung und Toxizität + hohe Festigkeit + chemische Beständigkeit + günstiger (150 €/kg) – Temperaturmanagement und Abkühlprozess
350-700 €/kg	800-1000 €/kg	150 €/kg

PLA	TPC45D	rPET(G)
Polylactid, Polymilchsäuren (Plastikbecher)	Thermoplastisches Copolyester-Elastomer	Recyceltes Polyethylenterephthalat (Glyc (PET Flaschen)

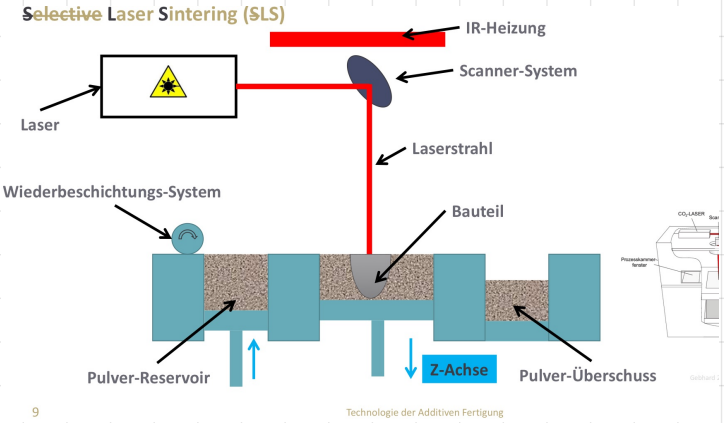
• Drucktemperatur 210 – 215°C
• Betttemperatur 60 °C
• Maisstärke
• Biologisch abbaubar
  • Kompostieranlagen notwendig
  • Hängt von Copolymeren und Additiven
	• Drucktemperatur 230 – 250°C
	• Betttemperatur 70 °C
	• elastisch
	• Herstellung aus bis zu 40 % Rapsöl statt Mineralöl
		• Drucktemperatur 230 – 270 °C
		• Betttemperatur 70 – 90 °C
		• Komplett oder zumindest zu e gewissen Prozentsatz aus recyceltem PET

Selective Laser Sintern (SLS)

-> pulverbasierte Additive Fertigung

LERNZIEL: - Funktionsprinzip
- SLS Prozess, wichtige Prozessparameter

Pulverbett basiert LS



MATERIALIEN
> Polyamid (Marktanteil > 90%.)
↳ Nylon

Druckprozess

- Bauprozess unter Schutzatmosphäre
↳ verhinderung von Oxidation, Oberflächenenthohlung
↳ würde sonst zur verminderter Festigkeit führen

- Bauraum erwärmt bis Schmelztemp. des Kunststoff

Schmelzprozess (der LS-Maschine)

- Pulver wird in Bahnen (vektoren) aufgeschmolzen
- verbindet sich mit gesinterten Bereich

▷ Energieeintrag wird über Laserenergie + Scannergeschwindigkeit gesteuert
▷ berücksichtigen vom Beam Offset

Lasereinheit

- CO_2 Laser (100w)
- $\lambda = 10{,}6\mu m$: absorbieren der Kunstoffe über molekulare Gruppenschwingung

Steuereinheit scanner

- präzise Führung
- Ablenkung des Strahls mit Spiegel

Dynamische Differenzkalorimetrie

> Sinterfenster : wo flüssig & fest nebeneinander Vorliegen

> angesinterte Pulver dient als disperse Stützstruktur

> kurz vor Kristallisationstemp. gehalten —> erstarren verhindern

PROZESSPARAMETER

1. Pulverqualität — 50 - 60 µm
   > gute Fließfähigkeit und enge Partikelgrößenverteilung
   Optimum: > kleine + große Partikel = gute Dichte

2. Temperatur
   > nahe Kristallisationstemp. Tm

3. Laserenergie / Geschwindigkeit steuern

4. Schutzatmosphäre
   ↳ vor Oxidation + Materialeigenschaft

5. Nachbearbeitung —> . T <= 100° C entnommen
   ↳ vom überschüssigen Pulver ! 30 - 50% Neupulver !

FDM / PLM
MEX / FFF

SLA / DLP / CLIP — PJM — SLS

am besten für medizinische Produkte

	Extrusionsverfahren	Wannen Photopolymerisation	PolyJet	Pulverbettverfahren
Vorteile	• Einfaches Handling • Geringe Einstiegskosten • Gut geeignet für Prototypen und Konzepte	• Hohe Auflösung • Gute Oberflächenqualität und Präzision • Geringe Einstiegskosten • Vergleichsweise schnell	• Hohe Auflösung • Hervorrangende Oberflächenqualität • Multimaterial und -color • Stützstrukturen aus anderem Material möglich.	• Breites Spektrum an Materialien • Komplexe Geometrien ohne Stützstrukturen • Hohe Auflösung • Höhere Produktivität (Packungsdichte)
Nachteile	• (Materialien) • Begrenzte Auflösung • Begrenzte Oberflächenqualität	• Post-Processing • Stückzahl • Zweistufige Polymerisation • UV-sensible Materialien (Witterungsunbeständig) • Benötigt Stützstrukturen	• Hohe Einstiegskosten • Keine Med. zugel. Materialien • Geringere Geschwindigkeit • Post-Processing	• Post-Processing notwendig • Einstiegskosten • Schutzgasatmosphäre • Spezielle Ausrüstung notwendig • Geschwindigkeit (Abkühlzeiten)

Rechtliche Aspekte (MDR)

POC : Point of Care
↳ schnelle Patientenversorgung

MDR :
- Konformitätsbewertungsverfahren (6)
  - ▷ technische Dokumentation (Design, Herstellung, Prüfberichte)
  - ▷ klinische bewertung
- Risikomanagmentsystem RMS
- Qualitätsmanagmentsystem QMS
- Post-Market-Surveillance
- Risikoklassen

RISIKOKLASSEN I, Ir, Im, Is, IIa, IIb, III

Klasse I	Klasse Ir	Klasse Im	Klasse Is	Klasse IIa	Klasse IIb	Klasse III
Geringes Risiko nichtinvasive Produkte	Wiederverwendbare chirurgische Instrumente	Medizinprodukte mit Messfunktion	Sterile Medizinprodukte	Geringes bis mittleres Risiko Nicht Implantierbar, nicht invasiv; Bsp.: Schleimhautkontakt, vorübergehende Anwendung bestimmter chirurgischer Produkte	Mittleres Risiko implantierbaren Produkte sowie zur langzeitigen Anwendung bestimmten chirurgisch-invasive Produkte invasiven Produkte im Zusammenhang mit Körperöffnungen in Langzeitanwendung	Hohes Risiko nicht invasiven Produkte, die aus einem Stoff oder einer Mischung von Stoffen bestehen, die für den In-vitro-Gebrauch unmittelbarem Kontakt mit dem menschlichen örper entnommenen menschlichen Zellen, Geweben oder Organen oder für den In-vitro-Gebrauch mit menschlichen Embryonen vor deren Implantation oder Verabreichung in den örper bestimmt sind, werden der Klasse III zugeordnet. implantierbare Produkte mit Kontakt mit dem Herz dem zentralen Kreislaufsystem oder dem zentralen Nervensystem Produkte mit Arzneimittelabgabe

REP (regulatory entry points)

> Scanner → zugelassen / zertifiziert
> Designsoftware
> Drucker + Materialien
> Produkteigenschaft

Sonderfertigung

> individuelle angefertigte Produkte
> vom CE-Kennzeichenspflicht befreit

DIGITALER WORKFLOW

1. Scannen 2. Design 3. Fertigung 4. validierung

> Präzision, Patientenkomfort, Zeit / Kosteneffizenz, Nachhaltigkeit

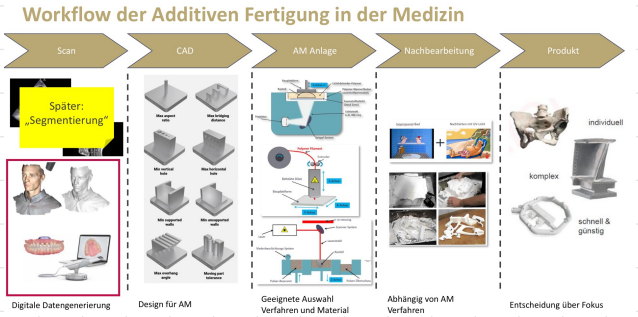
DIGITALE DATENGENERIERUNG

LERNZIEL: - unterschiedliche Technologien für Oberflächenscanner

> Oberflächenscanner

Workflow der Additiven Fertigung

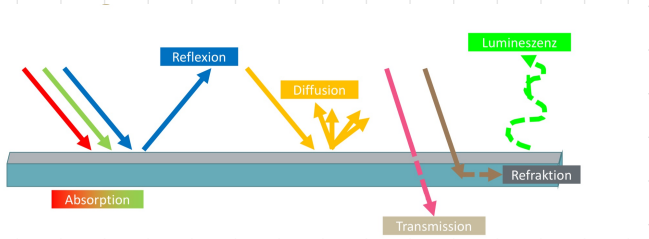
in der Medizin



Technologie

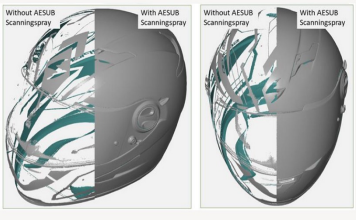
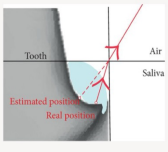
Triangulation	Konfokal	Photogrammetrie	Laserscanning
> zwei Punkt & Abstand = lage des Objekts ermitteln	> 2 strahlengänge ↳ ein Brennpunkt > 3D möglich	- Markante Punkt aus unterschiedliche Perspektiven 	> Rasterartige Abtasten der Oberflächen ↳ mit Laser & Echo

Wechselwirkung von Licht mit Oberflächen



1. Absorption
2. Reflexion / Diffusion
3. Transmission
4. Refraktion

Scanning Quantat

	Absorption	Reflexion / Diffusion	Transmission	Refraktion
Problem für Oberflächen-scanner	Dunkle Oberflächen absorbieren zu viel Licht	Glänzende Oberflächen reflektieren und streuen zu viel Licht	Transparente Oberflächen reflek-tieren zu wenig Licht	(Transparente) Oberflächen brechen Licht falsch
				
Lösungen	Lichtverhältnisse anpassen (direktes / indirektes Licht) opakes Scanspray verwenden Scanwinkel anpassen			Trocken legen

Oberflächenscanner

- Gesichtsscanner
  - Triangulation mit Streifenlicht
- Smartphone scanner
- Intraoral Scanner
  - ↳ Konfokal
- Labor
  - Triangulatn mit Blaulicht

Automatisierung 3D

LERNZIEL:

- Was ist Automatisierung und was sind ihre Vorteile?
- Wie sind 3D Daten aufgebaut?
  - Wie können sie manipuliert werden?
  - Wie werden sie als Datensätze gespeichert?
- Was ist die 3D Rendering Pipeline?
- Was muss man bei der Automatisierung von 3D Design beachten?
- Welche Möglichkeiten zur Automatisierung von 3D Design gibt es und was sind die Vor- und Nachteile?

> Einsatz von Automaten
> ↳ künstliche Systeme (selbsttätig ein Programm befolgen)

- Vollautomatisierung : alles von Maschine
- Teilautomatisierung : paar Prozessschritte sind manuell

Arten
- Algorithmen
- Artificial Intelligence
- Machine Learning

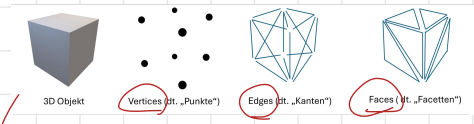
Vorteile

> Verringerung der Konstruktionszeit : entlastung, geringe Kosten

> höhere Versorgungsqualität für Patienten : reduzieren von Fehler

> Einsatz von ML Methoden
> ↳ Maschine learning

DATENSÄTZE → AUFBAU



> einfach oder komplexe Strukturen
> OPTIONAL : · Faces / Punkte
> · Farbe / Textur

Polygonnetz : 3D Objekt · Punkte verbunden mit Kanten, Faces

Tessellation : Übersetzung in Polygone

Triangulation

> Netze : Faces bestehen aus Dreiecken
> einfachste Form
> Datenverarbeitung aller Softwares

Boundry Representation B-Rep
> 3D-objekt durch begrenzte Oberflächen beschrieben
> ↳ mathematische Funktion
> ↳ Übersetzung ins Polygonnetz bei Export

Manipulation von 3D - Daten

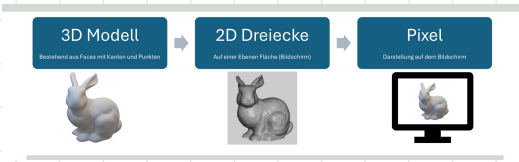
↳ mit CAD - Werkzeuge

Beispiel: Kanten, Glätten, Extrusion

Rendering Pipeline 3D

Rendern: erstellung einer Graphik aus Rohdaten

↳ projiziert 3D Szene auf Bildschirm



was wird gebraucht?

- 3D Objekt
- Kamera
- Bildschirm
- Lichtquelle

und berechnet?

- Position der Objekte
- Schatten, Reflektion, Transmission
- Pixel

3D-Design in der Medizin

Planung:

- entwicklung des workflows
- medizinische Aspekte
- wahl der softwarelösung
  ↳ CAD mit { API / Konstruktionsverlauf / Programmieren } -> ermöglicht Teilautomatisierung

Vorteile:

- wenig Komplexität:
- leicht zu erlernen
- direktes nutzen der Software

Nachteil

- kaum Flexibilität
- gebunden an CAD
- -> nicht Benutzer freundlich

API (Application Programming Interface)

- Satz von Funktion, befehlen, Objekten
- standardbefehle für operation in einer Software
- Codes nicht neu geschrieben

3.2.1 CAD-Software mit Konstruktionsverlauf

Vorteile

- Wenig **Komplexität**:
  - Im Vergleich zu den anderen Methoden leicht zu erlernen
  - Direktes Nutzen des Setups der CAD-Software (Rendering Pipeline, CAD-Werkzeuge)

Nachteile

- Kaum **Flexibilität**
  - Gebundenheit an die Möglichkeiten der CAD-Software
  - Keine Veränderung des Graphical User Interfaces (GUI) möglich
  - → nicht Benutzer-freundlich

3.2.2 CAD-Software mit API: Fazit

Vorteile

- Mehr **Flexibilität** als CAD-Software mit Konstruktionsverlauf
  - Workflow kann erstellt werden
  - Algorithmen können implementiert werden
- Weniger **Komplexität** als CAD-Software Programmierung
  - Direktes Nutzen des Setups der CAD-Software (Rendering Pipeline, CAD-Werkzeuge)

Nachteile

- Keine vollkommene **Flexibilität**
  - Gebundenheit an die Möglichkeiten der API
  - Keine Veränderung des Graphical User Interfaces (GUI) möglich
  - → nicht Benutzer-freundlich
- **Komplexität** höher als CAD-Software mit Konstruktionsablauf
  - Programmierkenntnisse nötig
  - Kenntnisse über API Funktionen nötig

3.2.3 CAD-Software Programmierung

Vorteile

- Maximale **Flexibilität**
  - Schreiben eigener Algorithmen möglich
  - Erstellung der GUI
  - → Benutzer-freundlich

Nachteile

- Hohe **Komplexität**
  - Rendering Pipeline muss programmiert werden
  - CAD-Werkzeuge müssen programmiert werden
  - Wartung und Support
  - → Lange Entwicklungszeit

ZSMF:

Vorteile von Automatisierung

> reduktion von Konstruktionszeit
> entlastung der Anwender
> verbesserte Patientenversorgung
> ↓ Kosten & ↓ Fehler

Planungsaspekte

> Identifikation des Anwender und bestehende Methoden
> Teil - oder Voll
> welche Software -> z.B CAD

Software

CAD + Konstruktionsverlauf:
▷ einfache Automatisierung
↳ anpassen an Konstruktionsschritte

CAD + API:
▷ mehr Flexibilität durch programmierbare Schritte

CAD + Programmierung
▷ maximale Flexibilität durch eigene Algorithmen

Z: · Beatmungsmaske
· Gaumenabdeckplatte

Segmentierung von Patientendaten

> Prozess der relevanten Dateiformat

Digitaler Workflow

1. CT / MRT → DICOM
2. 3D segmentieren / visualisieren
3. CAD / STL Model
4. 3D slicing
5. 3D Printer
6. Post-Processing

Methoden / Quellen zur verarbeitung patientenbezogener 3D Daten

Computertomographie CT	Magnetresonanztomographie	3D Scan
> Röntgenstrahlung (durch Gewebe) > Hohe Auflösung im Knochengewebe niedrig → weichgewebe	> Magnetfelder → spins der Protonen im Gewebe zu manipulieren > exzellent weichgewebe kontrast	> Oberflächenerfassung durch optische Verfahren

Medizinische 3D Daten digital verarbeiten

- Segmentierung, Freiformen, Thresholding
  - ↳ Bildanalyse und extranieren
  - ↳ segmentierung von MRT Daten
    - ↳ clustering

Digitaler Workflow OP

> DICOM Standarddateiformat = MRT & CT

> STL Dateien für 3D-Druck

Materialien und Druckertechnologien zur Fertigu

Verfahren	Anwendung	Materialien
FFF	Anschauungsmodelle	PLA, PEEK, PEAK, ABS
SLA	Cutting Guides, Schablonen,	PMMA; Photosensitives Resin
SLS	Implantatbauteile Anschauungsmodelle	PETG, PA12, PEEK. Hydroxyapatit
Selective Laser Melting (SLM, DMLS)	Implantatbauteile	Titanlegierungen
Polyjet (PJ)	Anschauungsmodelle	Photosensitives Resin, Silikon



DESIGNRICHTLINIE

↳ Konstruktionsanforderung der additiven fertigbare Bauteile

Unterschiede zu konventionelle Verfahren

> Komplexität → Hohlraum, Gitter

> Topologieoptimierung → stabil

> Toleranzen

> Oberflächenqualität

Richtlinien

> Materialeffizenz
- Stützstrukturen möglichst reduzieren
- Materialsparend

> Toleranzen
- Verfahrensungenauigkeiten + Nachbearbeitung
- minimale Wandstärke
  ↳ Bauteil- & Druckstabiliät

beim schrägen Abschnitt des Boots

	MEX	Photopoly	SLS / SLM
KONSTRUKTION	> Ecke > Übernänge und Lücken > Stützstrukturen	> Wandstärke (mind. 1mm) > Toleranzen > Übernänge und Lücken > Stützstrukturen	> ! Wandstärke : mind. 0,1 - 0,3m > Toleranzen
MATERIAL	> massiv oder hohl ↳ massiv sparsamer und schneller > Aspect ratio (höhe / Länge) > Treppenstufeneffekt ↳ radien anpassen > Bohrungen	> massiv oder hohl ↳ hohl sparsamer und schneller > Aspect ratio (höhe / Länge) > Treppenstufeneffekt ↳ radien anpassen > Bohrungen	> massiv oder hohl ↳ hohl sparsamer und schneller > Aspect ratio (höhe / Länge)

Selektiv-Laser-Melting SLM

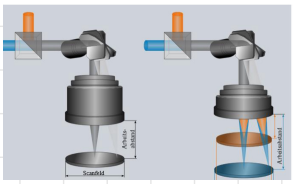
> DMLS (Direct Metal) > LPBF (Powder Bad) > LMF (Metal)

Verfahren

> Dicke der Pulverschicht + Eindringtiefe des Lasers
↳ sind größer als die Dicke der erstarrten Schicht

Fertigungsparameter	Beeinflussen
Laserleistung	Dichte
Strahldurchmesser	Bauteilintegrität
Laserstrategie	Festigkeit
Pulverschichtdicke	Eigenspannung
Qualität (Pulver)	Aufbauraten

Lasereinheit



> Scanner Einheit ist mittig über den Bauraum = Verzerrung
↳ Verzerrung verhindern mit f-Theta Linse
↳ positioniert den Laserfokus → Fokusgröße gleich bleibend

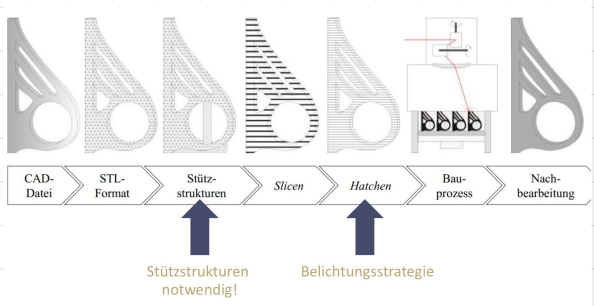
Schmelzprozess

> Energieeintrag = Laserenergie + Scannergeschwindigkeit
> Fehler: Risse, Oberflächendefekte, Lunker

Die Viskosität des Schmelzbads ist limitierender Faktor für die Scangeschwindigkeit. Bei zu schneller Scangeschwindigkeit reicht der Energieeintrag nicht aus um ein kontinuierliches Schmelzbad zu erzeugen

11

Workflow



Beschichtungsstrategie (Hatching & Kontur)

> Fokuspunkt = höchste Energiedichte
> Schmelzpoolbreite = dünnste Wandstärke
> Hatch Belichtung = bestimmt Materialeigenschaft
> Fokusaufweitung = größere Flächen

Prozess

> Klingengeometrie: abhängig von -> Pulverfluss + Schichtdicke

1 soft recoating

-> Karbonfaserbürste
Silikonlippe, Gummlippe

2 Hard recoating:
HSS-Klinge, Keramikklinge

Aufgabe der Stützstruktur

- Stützen von Überhängen
- Verbindung mit Bauplattform
- Steuerung der Wärmeableitung

Nachbehandlung der Bauteile

> Trennung von Bauplattform
↳ fräsen, Brechen, sägen

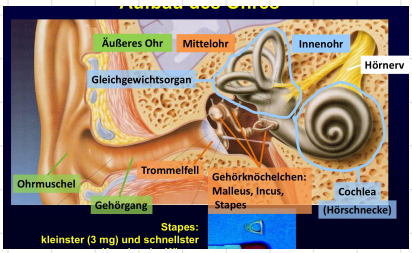
Fertigung mit Titanlegierung

Ti-6Al-4V

- hohe Dichte + Festigkeit
- zähigkeit ↑
- Korrisionsbeständig
- Biokompatibel

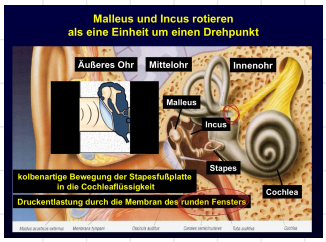
(hohe Affinität zu O_2 und N)

MITTELOHR



Mittelohr:

> passiver Verstärker
> Impedanzwandlung (zw. Luft & flüssigkeitsgefüllter Cochlea)
> verbraucht keine Energie
> mit Mittelohr → 5% Schallenergie
ohne Impedanzanpassung → 99% Schallenergie reflektiert!



Verstärkung im Mittelohr

> Flächenverhältnis
↳ Trommelfell : Fußplatte
bewirkt Schalldruckerhöhung

> Hebelarmlängenverhältnis
↳ Malleus : Incus
bewirkt Schalldruckerhöhung

→ Flächenverhältnis x Hebelarmverhältnis = 21 x 1,3 = 29dB
- gesamte Schalldruckerhöhung

$$dB = 20 \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) = 20\,\mu Pa$$

Manubrium (idealer Wandler)

> frequenzabhängige Sensitivität + zeitverzögert

Das Manubrium summiert die vielen Trommelfell-Resonanzen relativ kleiner Amplituden und erreicht dadurch eine viel größere Amplitudenantwort, die auch frequenz-unabhängig ist – ein idealer Wandler
dial fibres,

Trommelfell:

> besteht aus umlaufenden dazu quergerichtete Kollagenfaser
> viele Resonanzen

Mittelohr - Muskel / Mittelohrreflex / Reflexkontraktion

M. tensor tympani

> Ort: Basis des Hammergriffs + N. trigeminus
> zieht medial
> Funktion: Kontraktion → Schalldruckerhöhung
↳ ausgelöst von: Kauern, Augenbewegung

M. stapedius

> Ort: Stabeskopf + N. facialis
> zieht lateral
> Funktion
· Schutz: hoher Schalldruck
· verbessern → Sprachdiskriminierung

3 Mittelohr - Knöchelchen

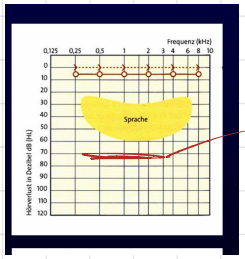
> Hypotnese: Schutz bei Druckschwankungen (Niesen, Tauchen)

Malleus
Incus
Stapes

> Prothese: TORP
("Total ossicular replacement prosthesis"):

Schwerhörigkeit

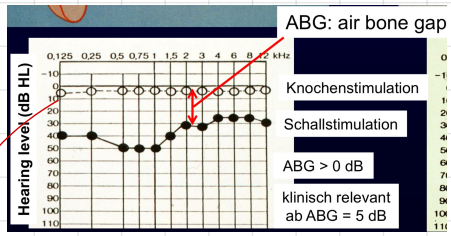
> Feststellen: Hörprüfung
↳ Knochenleitung → rechtes OHR: KL
↳ Luftleitung: LL
→ Klopfen auf den Kopf



→ beim Verlust, wäre da die Linie

> Mittelohrschwerhörigkeit

↳ Schalleitungsschwerhörig



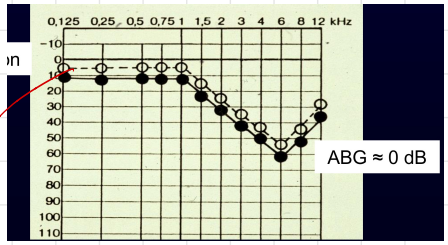
Tief ——> hoch Frequenz

Feder, Reibung, Masse

bei normal hörenden, wäre die Knochenstimulation beeinflusst

> Innenohrschwerhörigkeit

Schallempfindungsschwerhörig



> wenn die aufeinander liegen dann schwerhörigkeit

> Messung der Schallinduzierte Geschw. des Trommelfell

Bsp: Blitzer

↳ Verschiebung der Frequenz

genau das passiert bei der Messung

Otoakustischer Emissionen (OAEs) ← Schallsignale

↳ Bewegung die wir Messen können

> Nebenprodukt eines elektromechanischen Verstärkers (der Cochlea)

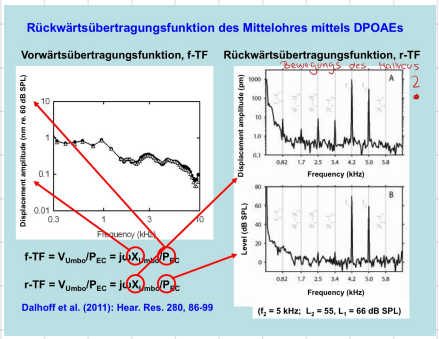
> Schall -> abgeleitet im äußeren Gehörgang

> Stimulation von zwei Tönen erzeugt:

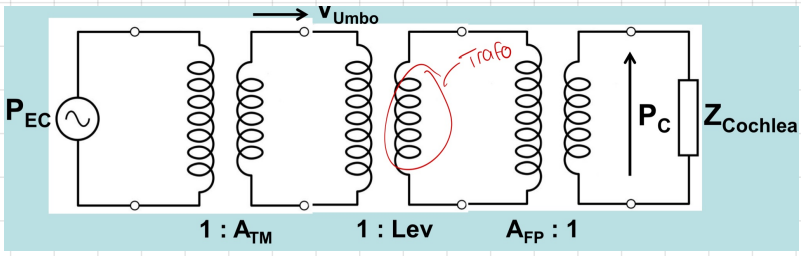
↳ f_1 & f_2

↳ Verzerrungskomponente

↳ DPOAEs (Distorsionsprodukt)



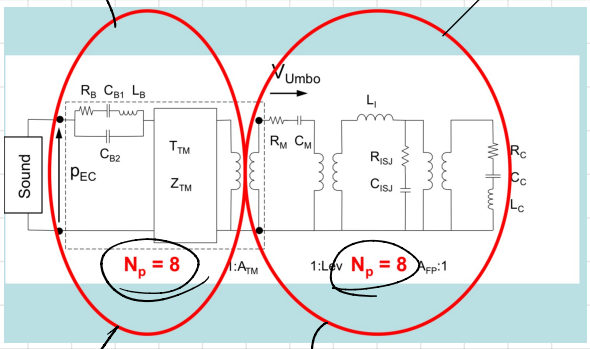
▷ Wenn Nachgebigkeit & Dämpfung & Masse : gleich Null = idealer Trafo



Hybrid - Modell des Mittelohrs

Rückwärtsübergangs funktion
↳ kann man berechnen

Vorwärtsübertragungs Funktion
↳ umgekehrte Richtung
v_{Umbo} →



Gesamt Np : 16

Kette & cochlea

Paukenhöhle & Trommelfell

LERNZIELE

Lernziele

Take-home

- **Impedanzanpassung**
  Flächen u. Hebelarmlängenverhältnis
- **Schutzmechanismen**
  Mittelohrreflex
- **Schallleitungs- vs. Schallempfindungsschwerhörigkeit**
  Air-bone-gap
- **Mechanische Parameter**
  Nachgiebigkeit, Reibung, Masse
- **Diagnostik mittels otoakustischer Emissionen**
  Rückwärtsübertragungsfunktion des Mittelohres

INNENOHR

Tonotopie

> Breitenänderung -> Steifheitsänderung -> Tonotopie

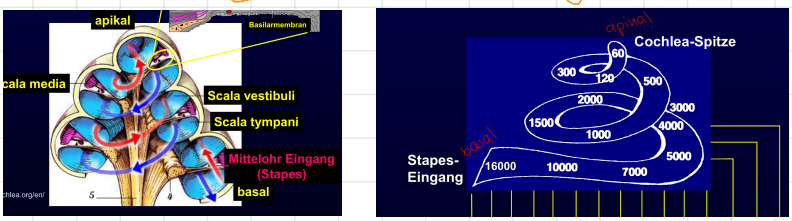
↳ von basal nach apikal

stapes ↙ ↘ cochlea

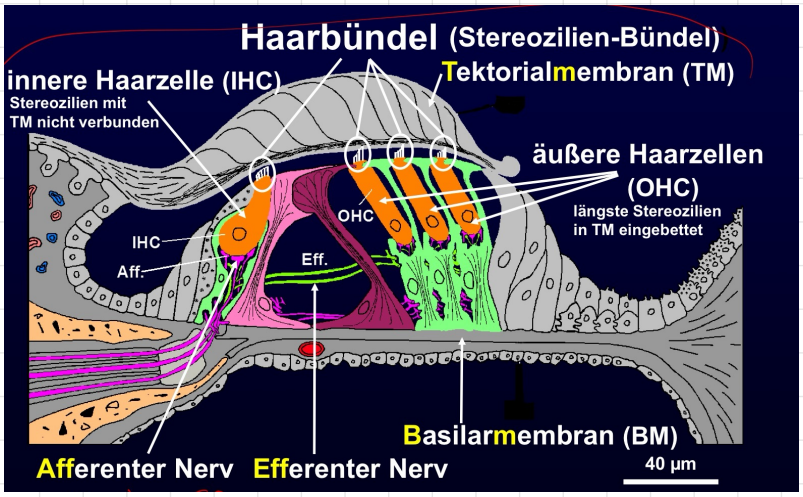
> jeder Ton hat sein Platz

Transduktionprozesse

↳ Energiewandlung



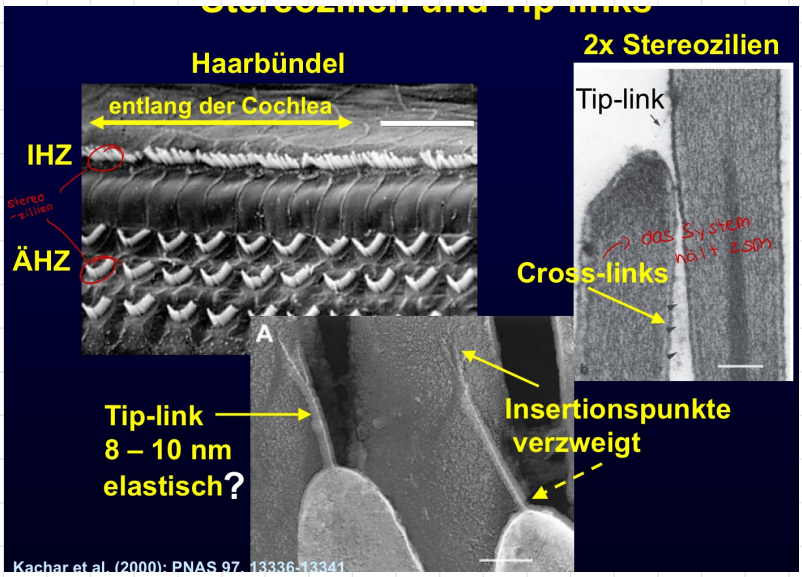
Corti'sche Organ



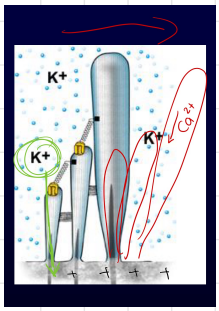
Wie werden die Haarsinneszellen stimuliert?

> die Drehpunkt der Basilar und Tektorialmembran sind von einander abgesetzt

Stereozilien & Tip-Links



Mechano elektrische Transduktion

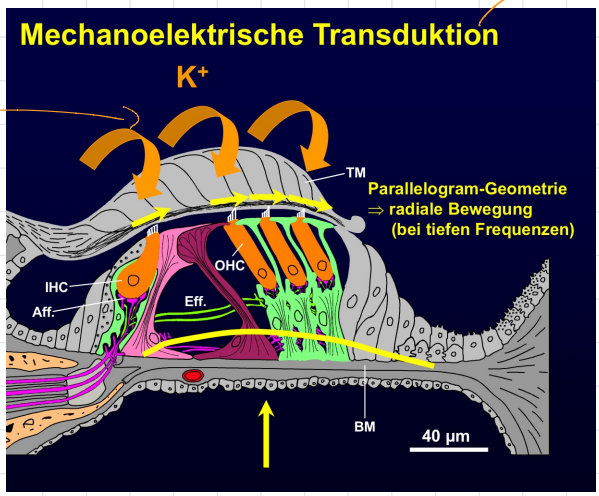


> Haare ausgelenkt → weniger als 40 µs
> Tip - Links gedehnt
> Kanäle in den Haaren → mechanisch geöffnet
↳ K^+ fließen hinein = Rezeptorstrom
↳ Zelle depolarisiert = Rezeptorpotential

$$F_R = p \cdot V \quad (p: \text{const}, V: \propto f)$$

20kHz = 50ms

→ Energieumwandlung



K^+ fließt in die Zellen ein

IHZ

> afferent innerviert
→ AP zum Gehirn
↳ Umsetzung neuronale Signale

Rezeptorpotential

> Transmitterfreisetzung
> Depolarisation der Nervenfaser

AHZ

> efferent innerviert
↳ nichtlineare Verstärkung

Rezeptorpotenzial

> axiale Bewegung
> elektromotil (bewegen sich)
> Reibung
↳ wenn Basilmembran nach oben bewegt

> elektromechanische Kräfte:
> wirken gegen Reibungskräfte
> Verstärkung der Bewegung der BM & ÄHZ / IHZ - Stereozilien

↳ tanzende ÄHZ (elektromotil bis 70kHz)

Basolaterale Wand ÄHZ

> Motormolekül : Prestin (81,4 kDa)
  L> Dichte Packung in der Plasmamembran 8000 / µm²

> Längenänderung der Gesamtzelle durch Synchronisation der Änderung der Molekülobefläche
  L> max. Empfindlichkeit : 20nm/mV

2SMF Rezeptorpotential

> Freisetzung von Transmittersubstanz => Aktionspotential am den Synapsen der IHZ

> EMK vom Soma der ÄHZ => cochleäre Verstärkung (elektromechanisch Kraft)

---

nichtlineare BM - Bewegung

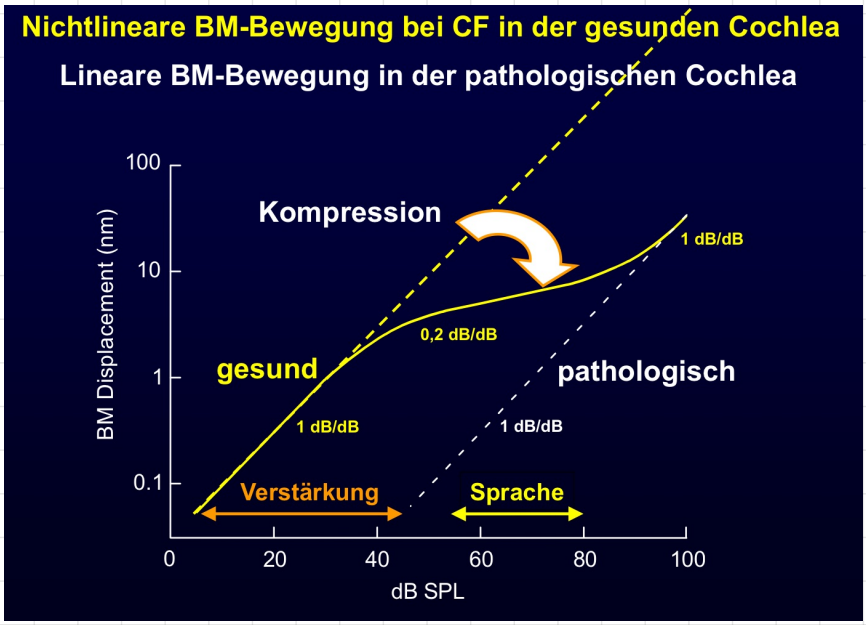
Komprimierende Antwort der Basilarmembran

1. Hörschwelle : 1 Å -> 120 dB

> Basilmembran : 2 - 7 µm
> CO : 50 - 150 µm
=> sonst ZERREIßEN

2. Eingeschränkter Dynamikbereich

> 20 - 30 dB !
> Detektor : IHZ - afferent



Wie kommt die nichtlineare Antwort zustande?

> Öffnungswahrscheinlichkeit der MET Kanäle

↳ verantwortlich: nichtlineare, EMK des ÄH2-Somas relativ zur Stereozilienauslenkung

→ Bewegung kommt aus dem Soma

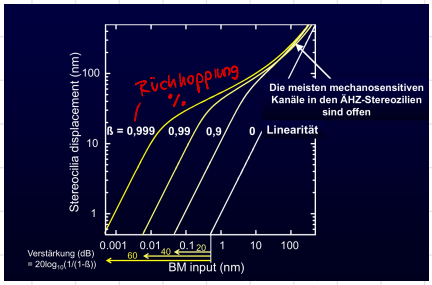
> Boltzmannfunktion

↳ von einem zu einem anderen Energiezustand geht (die Wahrscheinlichkeit des Übergangs zw. Energiezuständen)

Schallverarbeitung

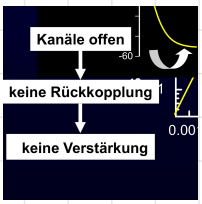
↳ durch Rückkopplung

Nichtlineare Verstärkung



bei 150nm

↳ sind alle Kanäle offen = kein Strom



> entsteht durch nichtlineare mechanoelektrische Transduktion in den ÄH2 - Stereozilien in einem linearen elektromechanischen Weg mit positiver Rückkopplung

> cochleare Verstärkung mittels positiver Rückkopplung

IHZ

↳ 30 afferente Synapsen (unterschiedliche Spontanrate & Schwelle)

	Modiolus	Pfeilerzelle
Synapsen	↓ klein	↑ groß
Mitochondrien	↓ wenig	↑ viel
Spontanrate	↓ niedrig	↑ hoch
Schwelle	↑ hoch	↓ niedrig

Zusammenfassung für Intensitätskodierung

Synapsenpopulationen mit inhärent unterschiedlichen Schwellen an einer einzelnen IHZ lösen das Problem der begrenzten Dynamikbreite teilweise,

und eine bestimmte Synapse scheint NICHT darauf ausgelegt zu sein, *per se* einen breiten Dynamikbereich zu erzeugen.

Stattdessen ist das Eingangssignal an der IHZ – die Auslenkung bzw. Geschwindigkeit der Stereozilien – eine nichtlineare Funktion des Schalldruckpegels (SPL).

Dies führt zu neuronalen Wachstumsfunktionen mit sehr unterschiedlicher Dynamikbreite.

Hidden Hearing Loss

↳ Hörverlust → „versteckt" — ohne erkennbaren Verlust der tonalen Hörschwelle

↳ verminderte Sprachverständlichkeit

> Verlust von Neuronen mit niedriger Spontanrate
↳ verminderte Sprachverständlichkeit (in lauten Umgebungen)

> Neuronen mit hoher Spontanrate

- Empfindlichkeit gegenüber niedrigen SPL bedeutet, dass die neuronale Rate bei niedrigen SPL hoch ist
- Kontinuierliche Stimulation durch Lärm verursacht Entleerung des Vesikelpools u. damit eine geringere neuronale Rate bei hohen SPL

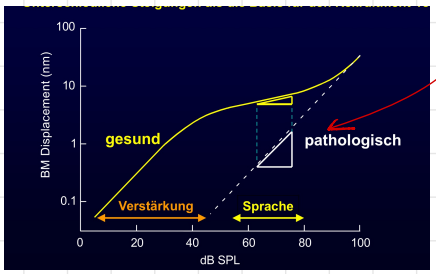
→ geringen Dynamikbereich im Rauschen

> Neuronen mit niedriger Spontanrate

Diagnostik

▷ Rekruitment - Test

↳ Schwerhörige erkennen 10B
↳ Test - positiv



unterschiedliche Steigung

Otoakustische Emissionen

▷ Nebenprodukt des cochleären Verstärker
▷ EMK von ÄHZ → erzeugen Wellen
↳ zum Eingang der Cochlea zurück gekoppelt

⇒ Mittelohrknöcheln in Bewegung

▷ als Schall abgeleitet

Zwei Arten

1. TEOAE
> Stimulus: Klick / Impuls
> ortunspezifisch → schnell

2. DPOAE
> Stimulus: zwei Töne, aber unterschiedlicher Frequenz
> ortspezifisch → zeitaufwändiger

aussagekräftiger als TEOAEs

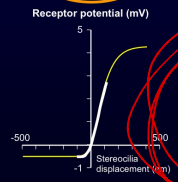
Im Allgemeinen,

$Y = m_1X + m_2X^2 + m_3X^3 + m_4X^4 + ...$

ergibt Komponenten bei $p\omega_1 \pm q\omega_2$

wobei p, q = 1, 2, ...

Für den mechanoelektrischen Wandler in den Stereozilien sind die linearen und kubischen Komponenten dominant



Größte Verzerrungskomponente bei $2\omega_1 - \omega_2$
denn die anderen Komponenten werden in der Cochlea und im Mittelohr relativ stark abgeschwächt

Größte Amplituden von $2\omega_1 - \omega_2$ für $\omega_2/\omega_1 = 1{,}2$

DPOAE - Distorsions - Produkt

▷ Frequenzinhalt: dominante kubische Komponente des mechanoelektrischen Wandlers in den Stereozilien

▷ kubische Komponente: höher als $2f_1 - f_2$ → werden stark abgeschwächt

LERNZIELE

Lernziele

- **Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Energie**
  mechanoelektrische Transduktion (MET) in den Stereozilien
- **Der cochleäre Verstärker**
  basiert auf elektromechanische Transduktion (EMT)
  in der Zellwand der äußeren Haarsinneszelle (ÄHZ)
- **Rollen der zwei Populationen von Haarsinneszellen**
  IHZ: neuronale Transduktion (sensorisch)
  ÄHZ: elektromechanische Transduktion (motorisch)
- **Nichtlineare cochleäre Verstärkung**
  Nichtlinearität: MET in den ÄHZ-Stereozilien,
  Verstärkung: EMT im ÄHZ-Soma
- **Diagnostik: Rekruitment-Test und Emissionen**
  Rekruitment: nichtlineare Basilarmembran-Bewegung
  Emissionen: elektromechanische Kraft von den ÄHZ

HÖRGERÄTE
+ Audiologie

Hörbereich

> normal: 200Hz < f < 12kHz

> unter idealen Bedingungen
Hörbereich: 16Hz - 20kHz

Begriffe

> Isophone: Lautheit
> Tonaudiodiagramm: Knochenleitung & Luftleitung

Schwerhörig

> behandlungsbedürftig: PTA >= 35dB HL

↳ altersbedingter Hörverlust:
> Bandbreitenbegrenzung

normale Hörschwelle

< 20dB HL bis 4kHz

Freiburgersprachtest

> Sprachverstehen in Ruhe
> Anpassung / Überprüfung eines Hörgeräts

> Einsilber → (Ton, Ring ...)
> Zahlen → (zwei-/dreisilbig)
} über Kopfhörer

↳ SRT_{50} = versteht 50% der Wörter

gut Hörend: -10dB - 19.9dB
milder Verlust: 20dB - 35dB
mittelgradig: 35 - 49.9
hochgradig: 50 - 80
taub: 80 - 95

Zwei Konzepte

> WRT: Lautstärkenpegel
> SRT_{50}: Lautsärke, wo der Patient 50% der Wörter versteht

Oldenburger Sprachtest

> Matrixsprachtest
> sucht annähernd SRT_{50}
> hohe Messdauer = Genau

Aufbau / Funktion von Hörgerät

> HdO → hinter dem Ohr
> Ex-Hörer
> IdO → in dem Ohr
↳ Rückkopplung höher

> Rückkopplungsunterdrückung → klare Klang wiedergabe
> Störschallunterdrückung → Modulationsanalyse
> Vorzugsrichtung Mikrophone
> .. Tischmikrophone

Rückkopplungsunterdrückung

! > geschlossene Versorgung → Rückkopplung geringer
- ↳ HdO: akustische Übertragung zw. Schall am Trommelfell ⟶ Mikrophon HdO = gut gedämpft
- ↳ im OHr: eher schwieriger

! > offene Versorgung → (Autophonie / Okklusionsgefühl) angenehm
- ↳ höhere Rückkopplung
- > 15 - 20 dB mehr Verstärkung = mehr Hörbarkeit

Hörgeräteversorgung

> mit HG 20 % mehr Sprachverstehen bei 65 dB
(z.B von 50 auf 70 %)

> anstreben an das normal sprachverstehen bei 65 dB

ERFOLGE

> SRT_{50} → Durchschnitts-Hörverlust → verbessert
↳ nur 36 dB verbessert (nicht bis 65)

! > 38 % werden wiederhergestellt (wiederhergestellt)

> bei 40-50 dB Hörverlust → am besten → normalhörend

! ↳ 65 dB kann noch nicht mit HG erreicht werden

WICHTIG:

HG kann nicht 100 % die Hörbarkeit von Sprache erhöhen, (v.a > 4kHz), da Hörverlust größer als die max. Verstärkung

> Hörgerät kann nicht genug Verstärkung erzielen
- ↳ insbesondere bei 4 kHz

> Klangqualität nicht ausreichend

> Sprachinformation: 500 Hz bis 3.9 Hz

> reduzierte Frequenzauflösung des Innenohrs nicht kompensierbar

Aktive Mittelohrimplantate

unzulängliche konventionelle Hörgeräte

- Verstärkung (nicht ausreichend bzw. Okklusion/Autophonieeffekt)
- Rückkopplung (vor Algorithmen)
- Distorsion / Klangqualität
- chronische Entzündungen / Gehörgangsunverträglichkeit

Indikationen (zum einsetzen)

- SNHL
- chronische Gehörgang- / Mittelohr patho
- schalleitungs- oder kombinierter Hörverlust (Schallleitungskomponente)
- Behandlung Schallleitungsverlust mit passiven Implantaten erfolglos

=> aktives Mittelohrimplantat angewendet
↳ wenn mit einem optimal angepassten Hörgerät keine ausreichende Versorgung erreicht wird

Anforderung / Bedingung

- Geometrie
- Kraft (1mN)
- Bandbreite (8-12 kHz)
- Rückkopplung (gering -> hohe Verstärkung)
- Biokompatibel (Titan, Silikon)

Einsatz

▷ sensorineuralem Hörverlust
▷ Schallleitungskomponente
▷ chronische Mittelohrinfektion

↳ FMT am Mittelohr

Cochlea - Implantat → siehe VB

Indikation

- prälinguale / postlinguale Ertaubung
- Ertaubung bei Kindern / Erwachsenen -> hochgradigen Hörverlust
- Resthörigkeit
- einseitige Ertaubung

Funktion

- elektrische Stimulation des Hörnerus über Elektroden (in der Cochlea)
- ersetzt Funktion von IHZ

Einsatz

> hochgradig -> vollständig schwerhörig

> Frühe Diagnose -> früher Spracherwerb

NEURO-EINBLICK

Hämatom

Wohin fließt das Hirnwasser?
> Peritonealraum

> **Epiduralhämaton**
- intrakranielle Blutung im Gehirn
- durch Schädel-Hirn-Trauma
- Ort: zw. Schädelknochen & Dura (äußerste Hirnhaut)
(Innenseite der Schädelkalotte)

> **Subdurales hämatom**
- einblutung im Subduralenraum -> Dura (Hirnhaut) und Hirnoberfläche
- intrakranielle Blutung

Behandlung

Kraniotomie
> eröffnung des Schädel -> durchsägen

↳ Kranecktomie: komplett entfernen

> Dekompressions kraniotomie
- bei gehirnschwellung
- entnahme des Schädelkalotte

↳ **Karnioplastik**
- knochenimplantat bei Defekt des Schädels
- Titan + Bioaktive lashes

EVD (ventrikeldrainage)
> ventrikelkatheter -> seitlichen Ventrikel
↳ bei intrakraniellen Druckmessung
↳ bei hohen Hirndruck

> ableitung des Hirnwasser

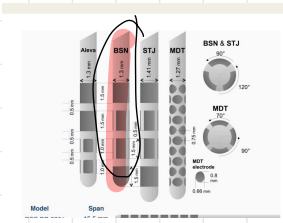
E) Epilepsie

Frage 15: Welche Aussagen zur Kraniotomie treffen zu?
A) Es wird immer nur ein Clip coil verwendet
B) Man unterscheidet endovaskuläre Clips und minimalchirurgische Coils
C) Man verwendet Trepan um die Hirnhaut zu schützen
D) Mit Hilfe von Titanschrauben und Platten kann der Schädel fixiert werden
E) Man verwendet ein Kraniotom zur Schädeleröffnung der Kalotte

HIRNSTIMULATION

Neuroimplantate

- aktive Implantate
  ↳ regulatorisches Verfahren



THS Tiefe Hirnstimulation

▸ Erkrankungen:
- Parkinson → Behandlung von motorischen Symptomen
- Forschung → Demenz
- psychische erkrankungen

! KLAUSUR !

① Was sind die Standardindikation? für THS

- Parkinson
- Dystonie
- essentieller Tremor
- Tourette
- Epilepsie
  als letztes zugelassen

② Tourette & Zwangsstörung (sonst meds oder Therapie)
↳ noch nicht das Evidenzlevel

Tourette haben noch ADHS und unterschiedlich Ausprägung → Behandlung beeinflussen

→ nicht bei Angststörung !

③ ZIELREGION

Tremor	VIM Thalamsus
Parkinson	STN, GPI, PPN
Dystonie	GPI

Erkrankung	Zielregion
Essentieller Tremor	VIM Thalamus
M. Parkinson	STN, GPI, PPN, Thalamus
Dystonie	GPI
Depression	Nac, Cg25, DLPF
Tourette	Cm-Pf Thalamus, GPI
Zwangsstörung	Nac, CM-Pf Thalamus
Epilepsie	Cm-Pf + anteriorer Thalamus
Vegetative State	Cm-Pf Thalamus

Tremor

> holmes Tremor → durch Unfall
→ stärker

Tourette Syndrom

↳ centro medianer para-fasziculäre Thalamus
↳ Implantat

ausführlicher

Therapeutische Strategien

Parkinson:

> subthalamischer Kern – STN
↳ Behandlung: Tremor, Motorik

> Globus pallidus internus (GPi)
↳ Dyskinesie

> Pedunculopontiner Nukleus (PPN)

Gangstörung

▷ PPN → bilateral stimuliert
→ rhytmisch Bewegungssteuerung

▷ GPi- & STN

Dystonie

> GPi: reduktion von willkürlichen Bewegungen

OP-bedingte Komplikation

> 4,5 %

Wie wahrscheinlich sind irreversible Ereignisse?

> 1 %

und psychische Erkrankungen?

> Neurostimulation: 8 %

> Medical Therapy: 12,5 %

→ Nebenwirkungen bei THS (Neurosimulation) geringer

↳ nur 10 % aller geeigneten Patienten erhalten THS

THS-Effekte (positiv)

> Beweglichkeitszustand

> Abnahme von Flukation & Dyskinesien

Alternativen

↳ invasive Therapien:

- tDCS
- tACS
- TMS
- tVNS

WIRBELSÄULE

Anatomie

> Atlas → kein Wirbelkörper } Halswirbel
> Axis

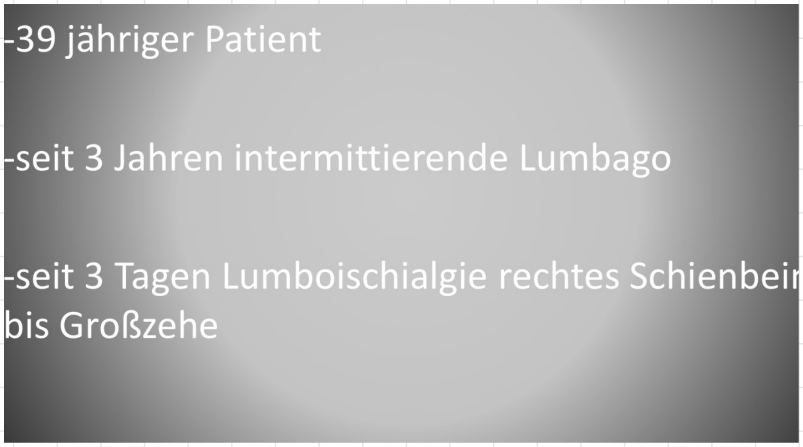
> Brustwirbel
> Lendenwirbel

Krankheiten
> Degeneration
> Trauma
> Tumor
> Entzündung

Anamnese
> Schmerz
> sensibilitätsstörung
> Motorische Defizite
> Blasen & Mastdarmstörung

Radiologie
> CT
> MRT

Fall: Lumbaler Bandscheibenvorfall



Behandlung:
> interlaminäre Fensterung
↳ Mikrochirugie

Perkutante Verschraubung LWS (lumbalbereich) → Pedikelschrauben TLIF einsetzen

→ Technik:
> Pedikelschrauben-Augmentation : transferiert die biomechanische Last vom Pedikel vom Wirbelkörper
> vertebroplastie / Kyphoplastie

→ Komplikation:
- Osteoporose
↳ Zementierung mit PMMA erhöht Schraubenfixierung
↳ Vertebroplastie Kyphoplastie

! **Material**: der Schrauben ! wichtig
> Titan
> carbon

KARDIO

Koronariographie

Indikation: | > Stenosen | > Koronarverschluss

1 Herzerkrankung
- > chronisch -
- > akutes Koronarsyndrom
  - instabile AP / NSTEMI
  - STEMI
  - Reanimation

2 Hochgradige Klappenvitien

3 unklare Herzinsuffizenz

Vorbereitung

- > Anamese
  - ↳ kardial, Allergen ?
- > körperliche Untersuchung
  - ↳ Herzinsuffizenz, Pulsstatus
- > Labor
  - ↳ Nierenwerte (Kreatinin, GFR)
  - ↳ Schilddrüsenwerte
  - ↳ Gerinnung

KATHETER

Ausstattung

1. Schleuse
2. Katheter
   - ↳ Standardgröße: 6 CH = 2mm
3. Dräte
   - ↳ weniger invasiv
4. Kontrastmittel
   - ↳ erkennen der Gefäß

e

Zugang

- > A. radialis (Arm) → Standard — Heparin: 5000 IE
- > A. femoralis → über Aorta — Heparin: 2500 IE
- > Finden: . übers Tasten
  . Ultraschall

Arten/Techniken - Koronarsondierung

- > Judkins
- > Amplatz
  - ↳ mehr invasiver (höheres Verletzungs Risiko)

Koronaranatomie

- > Linke Koronararterie - LCA
  - ▷ Hauptstamm
  - ▷ Ramus interventrikularis anterior (RIVA, LAD)
- ▷ Rechte Koronararterie - RCA

Punktionsstelle

A. radialis → mit Bändchen
Femoralis → manuelle Kompression
→ Femostop
→ Verschlusssystem

Komplikation

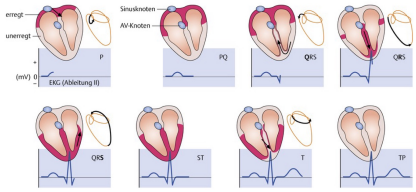
- > lokales Hämatom
- > aneurysma spurium
- > Koronarverschluss

Nachsorge

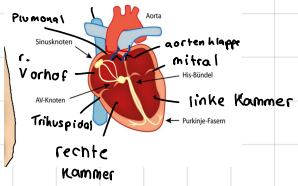
- > Kontrolle
- > PCI → PTCA: Ballonkatheter
- > Nierenwerte

Grundlagen Herzschrittmacher

Elektrokardiogramm im liegen





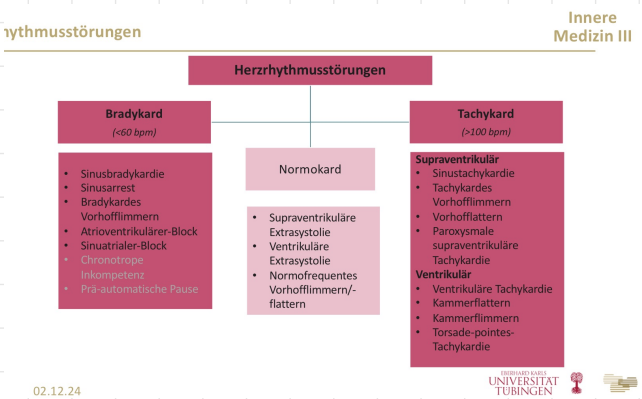


1. P-Welle: Erregung der Vorhöfe
2. PQ: Sinusknoten + AV-Knoten
3. QRS: Erregung Kammer
4. T: Rückbildung der Erregung

1 Sinusknoten → 2 AV-Knoten → 3 His Bündel → 4 Purkinje Fasern

Herzrhytmusstörung

> Bradykard → langsame < 60 (→ unregelmäßige Kontraktion)
> Tachykard → schnell > 100



DIAGNOSTIK

> 12-Kanal-EKG
> Langzeit EKG (24-72h)
> Belastungs EKG → Fahrradergometrie
> Implantierbare Eventrekorder
> Koronarangiographie (wichtig)
> Echo kardiographie

Schrittmacher → einsetzen über vena subclavia

Typen

- VVI
- AAI
- DDD

Ein Kammerherzschrittm. (ventrikelbedarfsschrittmacher)

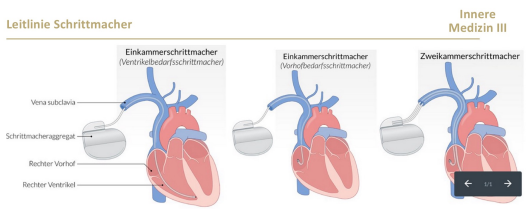
↳ VVIR

→ bei Vorhofflimmern
→ nur eine Sonde im Ventrikel

zwei kammerherz schrittm

↳ DDD + AVM

↳ Sonde im Vorhof & Ventrikel



Weitere Methoden

> Im Notfall: Transkutan
> Intrakardial: Micra (6-12J)

AUFBAU

Schrittmachersonden

Bipolar - Elektrode

- kleine Spitze
- wenig störempfindlich
- kein Zucken
- Elektrodenspitze: Kathode ⊖ & Anode ⊕

unipolare Elektrode

- großer Spitze → große Stromwege
- flexibel
- dünn
- sicher
- Elektrodenspitze → Kathode ⊖: Myokard
- Impulsgenerator → Anode:

zwei Arten: im Myokard

1. aktive Fixierung
   ↳ Schraubelektrode
2. passiv Fixierung
   ↳ Ankerelektrode

> Schrittmacher Programmieren

z.B. → VVI
→ DDD

Probleme

Kardiomyopathie (von Schrittmacherinduziert)
> rechtsventrikuläre Stimulation
> Dyssynchronie
> Schenkelblockierung (Linksschenkelblock)

→ Störungen

> Exitblock: keine Myokardreaktion mehr auf Stimuli
> fehlendes Erkennen von:
- under- & oversensing
  (↳ Muskel, Sonde etc.)

CRT (Kardiale Resynchronisationstherapie)

Indikation

> Herzinsuffizenz mit Dyssynchronie

Ziel

> Synchronisierung der Kontraktion der Ventrikel/Kammer

Technik

> Platzierung der Elektrode: Koronarvene (linke Kammer)
> Studien: Care-HF

Einstellung / Kontrolle

Stimulationsfrequenz
60/min

Batteriestatus
6 - 10 Jahre

Impedanz
↳ elektrischer Widerstand

Wahrnehmung (sensing)
↳ die eigene Herzaktion hat Vorrang
↳ keine gleichzeitige Eigenaktion und Stimulation

Reizschwelle
↳ Energiebedarf der zur Stimulation notwendig
↳ Amplitude (V) + Impulsdauer (ms)

↳ Nachsorge alle 6 Monate

Implantierbare Kardioverte - Defibrillation (ICD)

> vermeidung von plötzlich Herztod ⟶ durch ventrikuläre Arrhythmien
AVID

Funktion:
> automatische Erkennung / Behandlung:
- Tachykardie
- Vorhofflimmern

> Option: ATP oder Schockabgabe
↳ R-welle

> subkutaner ICD

Nachsorge

> Batteriezustand
> Elektrodenimpedanz
> Wahrnehmungstest
> Anpassung der Programmierung

Elektrophysiologie

Herzfrequenz < min 40 / max 220

Elektrische Erregung

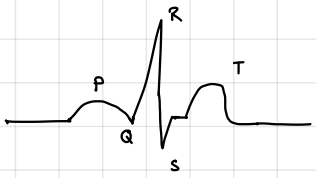
1 Sinusknoten → 2 AV-Knoten → 3 His Bündel → 4 Purkinje Fasern

Elektrische Signal

> Vorhofmuskelzellen

Elektrokardiogram (EKG)

über Elektroden → im Liegen



1 P-Welle
2 QRS
3 T-Welle

Kardiale elektrische Aktivität

Ionenkanäle : Depolarisation (+) ↪ einstrom von Na^+ & Ca^{2+} , Repolarisation (−) ↪ ausstrom von K^+

> Membranpotential wird +

Reizbildung

> Schrittmacherstrom Na^+

> Depolarisation Ca^{2+}

> Herzmuskelzellen
↳ Sinusknoten, AV-Knoten, ventrikel Reizleitung
↳ > automatisierte Schrittmacher

AV-Kreiserregung

1 AVNRT (Reentrytachykardie)

- Risikoarme Katheterablation : slowpathways
- ablation am AV-Knoteneingang

2 WPW-Syndrom — AVRT
- Herzrhytmusstörung → orthodorme / antidorme Reentrytachykardie

Radiofrequenablation

> Strom → Gewebe kann verbrennen

> kontrollierte Nekrose-zone
↳ unipolare HF / RF
↳ Thermoläsion

→ Tiefe: 4-6mm

Abkühlmethoden

> Kühlung der Spitze
> Kühlung des Gewebe → Spülporen
> Flüssigkeitsmantel

Vorteil

- gering Temp. anstieg
- Gewebetiefe ↑ → ohne Karbonisierung bis zu 1,2cm oder steam-pop

Katheter-Design

- Kühlung
- Temperaturmessung
- Signalübertragung
- Energieabgabe



Energieformen

RF-Energien: kontinuierlich

Pulsed Field: diskontinuierlich → Impulse
↳ erhalt von Gewebe

Katheterlokalisieren

- MRT
- Röntgen
↳ Alternative: - Magnetfeld - Tracking

Klappentherapie

Aortenklappen

1 Aortenstenose
↳ Aortenklappenersatz
- Mechanisch
- Bioprothese
  ↳ nicht für:
  - Alter > 70
  - schwanger

2 Insuffizenz

Valvuloplastie

↳ Katheter über Vene / Arterier
↳ mit Ballon

bissle veraltert

↳ häufig bei Mitralstenosen

neutzutage

TAVI

↳ minimal-invasives verfahren → bei hochrisiko Patient

Ablauf:

Zugang:
- > Transfemoral (leiste)
- > Transapikal (Brustwand / Herzspitze)
- > Transaorta (Aorta)

Komplikation
1. AV-Block
2. Blutung
3. Annulusruptur
4. Paravalvuläre Aortenklappeninsuffizenz

Stent:
- > biologische Klappe (Schwein, Rind)
- > haltbarkeit: 10-20 Jahre

1. Ballonexpandierbal
2. Selbstexpandierbar

Mitralklappe

1. Stenose
   ↳ selten
2. Mitralklappeninsuffizienz
   - prolaps
   - endokarditis
   - Papillarmuskelabriss
3. Kombiniertes Vitium

Therapie

> Medikamentöse Therapie
- Nachlastsenkung
- Vorhofflimmern

> Operatives Verfahren
- Mitralklappersatz
- Rekonstruktion

Behandlung

> Edge to Edge mit Clip (mit)
> Annuloplastie
> TMVR

V

Mitralklappenstenose

> rheumatisches Fieber
> Entzündung der Klappenränder
> verdickung -> Klappe

↳ Diagnostik
> Apikal
> Klappenöffnungsfläche
> Druckgradient

Trikuspidalklappe

> TK Clip
> TKE -> Evoque
↳ bei Implantation
↳ große Team
↳ 3D Echokardiographie

Nitinol

> Formgedächtnislegierung

AV - Blockierung

↳ störung der Erregungsleitung
↳ Micra oder CS Sonde

PTCA

PCI

Indikation

> Atherosklerose
  ↳ Fettablagerung in Arterien -> Plaques
  ↳ Gefäßverschluss
  ↳ Instabile Agina Pectoris STEMI (akuter Herzinfarkt)

> ACS
  ↳ Plaqueruptur & Thrombusbildung

CCS

↳ Schaumzellen / Makrophagen -> fördern Wachstum

-> T-Lymphozyten

▷ Auslöser : - Körperliche Belastung
- emotionaler Stress

▷ verstärkend : - postprandial
- Kälte

Angina Pectoris

> Koronarinsuffizenz
> Myokardischämie

Therapie

① Pharmakologisch (Statin) — Blutfettsenker

② Interventionell (Herzkathetertechnik)
↳ PTCA + Stentimpla.
-> Revaskularisation

③ Operativ - Bypass

④ Revaskularisation — bei Angina pectoris / Ischämie

1 PCI
- verengter Koronararterie
- Ort: Leiste- oder Radialarterie
- Indik.: Angina pectoris, STEMI

2 CABG — Bypass
-> ein gefäß wird als Bypass
↳ neuer Blutfluss

ACS (akutes Koronarsyndrom)

> akute Myokardischämie
  > STEMI -> primäre PCI
  > NSTEMI
  > instabile Angina pectoris

PTCA - Technik

> Führungskatheter
> Führungsdraht
> Ballon ——> low-pressure: PU, Nylon
high-pressur: PET (ultra), Nylon, PU

Therapie nach Eingriff

Antikoagulation periinterventionell

> gerinnungshemmende Therapie -> nach Eingriff

1. Heparin (Gerinnungsh.)
2. Bivalirudin (hohen Blutungsrisiko

Plättchenhemmung periinterventionell

> ASS
> GP IIa | IIIa inhibitor
> ADP- Antagonist

Warum reicht nicht nur PTCA?

-> Probleme

> akuter Gefäßverschluss
> Reststenose
> Koronarruptur

Stents

> Bare Metal Stents (Rein Metallstents)
↳ heutzutage nicht mehr ✗
> Medikamentbeschichtete Stents (DES)
> Bioresorbierbare Stents
↳ lösen sich nach 2-4 Jahre auf

Material

> Edelstahl
> Kobal-Chrom
> Platin-Iridium
> Nitinol

Komplikation

> wie bei Koronarangiographie
> Koronaverschluss

Extrakorporale Zirkulation (EKZ)

Anwendung:
- > bypass
- > Klappenchirurgie
- > Herzfehler

Komponente
- > Blutpumpe
- > Oxygenator (austausch von Sauerstoff & Kohlenstoffdioxid)
- > Kanülen
  - ↳ 3 Hohlvene, Aorta
- > Reservoir - sammlung von venösen Blut
- > Filter - von Fremdstoffen
- > Kardioplegie / Wärmeaustauscher

Elemente + Details

Schläuche
- > 1/2 inch - 127ml/m
- > 1/4 inch - 32ml/m
- > 3/16 inch - 18ml/m

Beschichtung
- > PH.I.S.I.O
- > Trillium Biosurface
- > X-coating

Kardioplegie (mechanisch)
- > diastolischer Herzstillstand & Myokardprotektion
- > nach abklemmen von Aorta
  - ↳ Kardioplegie lösung in Koronarien

Reservoir
- > nimmt venöses Blut auf
- ↓ durchlass von Mikroblasen

Hämodilution / Priming
- > Erythrozytenvolumen vermindert -> Hämatokrit
- > reduziert Blutviskosität -> reduktion Blutzellschädigung
- ↳ verbesserung von: Mikrozirkulation + Hirnperfusion

Hämokonzentrator
- > Entfernung Plasmaflüssigkeit
- > erhalt von korpuskläre Blutbestandteile

Blutpumpe
- > Hämolyse

Oxygenator I
- > O_2 & CO_2 -> Gasaustauscher
- > Temperaturaustausch (kühlung / erwärmung)

2 Arten:

① offenes System
- ↳ einfach
- ↳ entschäumung (Blut-Luft-gemisch)
- ↳ ↓ Fremdoberfläche

② geschlossenes
- ↓ komplex
- ↳ Reduktion von Blut-luft kontakt

Heater - Cooler
- > kühlen des Patient (reduziert Energie und Sauerstoffbedarf)
- > tiefe Hypothemie -> Kreislaufstillstand
- > wiedererwärmung

Blutkardioplegie - Wärmeaustauscher
- > Kalt / warm Kardioplegie
- > Filter Funktion
- > Integrierte Blasenfalle

Arterieller Filter
- > entfernung von Makro/Mikro komponenten und Luft

Bubble sensor

↳ am Oxygenator
↳ detektiert Luftblasen
↳ wenn Luftblasen = stopp der HLM

Formel für Kühlung

$$\frac{dT}{dt} = k\,(T_{Körper} - T_{Temperatur})$$

weitere Formen

> HZV (Herzzeitvolumen)
= HR x SV

> Ejektionsfraktion
$EF = \frac{(EDV - ESV)}{EDV}$

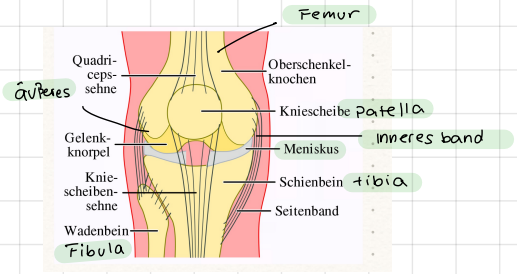
Steuerung des Blutflusses und Druck in Kanülen / Schläuchen

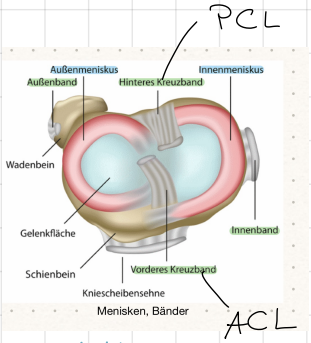
$$\frac{dV}{dt} = \frac{r^4 \cdot \pi \cdot \Delta p}{\eta \cdot 8 \cdot l}$$

↳ kleiner Durchmesser oder länger Schläuche = reduktion von Fluss

ORTHO

Kniegelenk





lig. cruciatum anterius/posterius

Passive Stabilisator

Knöcherne St.
- > Femur
- > Patella
- > Tibia

Ligamente
- > Kreuzbänder
- > Kollateralbänder

Sehnen / Meniskus
- > sehne Quadrizeps
- > Tractus iliotibialis
- > Patellasehne
- > Meniskus

Aktive Stabilisator

Muskulatoren:
- > Extensoren: M. quadriceps etc.
- > Flexoren: M. biceps femoris etc.

Tractus iliotibialis

- > M. gluteus maximus & M. gluteus medius
- > außenseite Oberschenkel
- > stabilisierung von Hüfte & Knie
- > Laufen, Joggen, gehen
  - ↳ Überbelastung

—> zugkräfte an unterer Extremität im Einbeinstand

=> Scharniergelenk

Kinematik

- > Bewegung aus: Gleit- und Rollbewegung
- > Meniskus => Gleitlager in Sagittalbewegung & Rotation
- > Kreuzband – zentrierung der Frontalebene

Bsp.:
Kreuzbandruptur
↳ Schubladenphänomen

Gelenkpuffer und Verschleißschutz

reduzieren Reibung / Verschleiß
- > Synovia: gelenkflüssigkeit
- > Meniskus: Gleitlager
- > Hoffasche Fettkörper —> stoßdämpfung + Bursa
- > Hyaliner Knorpel

GEOMETRIE

Winkel

> AMA : zw. anatomischer & mechanischer Femurachse
-> Normwert : 5°
↳ bei x-bein (winkel kleiner)
↳ o-bein (winkel größer)

> mLDFA(W) : lateraler Femurwinkel -> Normwert : 87° ± 3°
↳ mechanisch Winkel
↳ anatomischer Winkel
! ↳ 3° Grad abweichung !
-> bei starker abweichung
open wedge
close wedge

↳ ↑ mLDFA (> 90°) -> varus (mediale Belastung)
↓ mLDFA (< 85°) -> valgus (laterale Belastung)

> aMPTW 87° ± 3°
↳

Zusammenfassung der Winkel bei Fehlstellungen

Winkel	Normwert	Varusfehlstellung (O-Bein)	Valgusfehlstellung (X-Bein)
AMA	~5°	Vergrößert	Vermindert
mLDFA	87° ± 3°	Erhöht (>90°)	Vermindert (<85°)
aMPTW	87° ± 3°	Vermindert (<84°)	Erhöht (>90°)

Achsfehlstellung

> Varusdeformität (O bein)
- medial Belastung
-> femoral : CW, OW
-> tibial : OW

> Valgusdeformität (X bein)
- lateral Belastung
-> femoral : CW
-> tibial : CW

Korrekturprinzip

open wedge OW
↳ ein Keil aus dem Knochen geöffnet = Spalt
-> mit Implantat / Knochsubstanz gefüllt

close wedge CW
↳ keilförmiges Stück Knochen entfernt
-> Knochende Isegmente zusammen gedrückt

KNIEPROTHESEN

Unikondyläre

> Teilprothese, andere Gelenke oder Bänder erhalten
> intaktes ACL

Vorteil
> beweglich
↳ Kinematik bleibt erhalten
> schnelle erholung

Nachteil
> kurz Standzeit
> erfahrung ↳ chirug

Bikondyläre

> Kniegelenk fast vollständig (z.B Rückseite Patella noch da)
> Arthrose, fehlende ACL & PCL

Vorteil
> standard
> schwerwiegende Gelenkschäden

Nachteil
> invasiver
> weniger Beweglich

Trikompartionelle

> komplett in medial + lateral + patellofemorale
> instabil
> Fehlstellung (varus & valgus)

Vorteil
max. Stabilität

Nachteil
> großes Trauma
> lange Reha

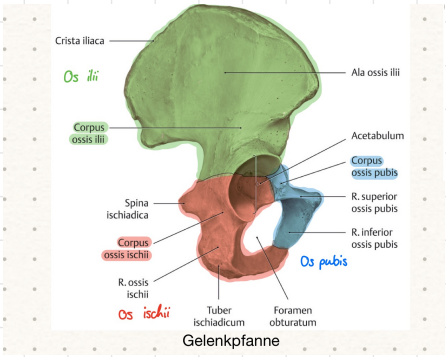
Fixed Bearing

> Inlay mit Tibiafläche fest verbunden
> Bewegung zw. Femur & Gleitfläche ->

Mobile Bearing

> Inlay beweglich auf künstliche Gelenkfläche Tibia

Hüftgelenk



Ligamente / Bänder

> lig. iliofemorale
> lig. pubofemorale
> lig ischiofemorale

Belastung: Last vom Oberkörper wird von Kraft der Adduktoren getragen

> **Kontaktkraft**

	Körpergewicht
Stehen :	70 - 100 %
Treppen :	300 %
Joggen :	500 %
Stolpern :	> 850 %

Knochenheilung

> Primäre

> Sekundäre
↳ Kallusbildung = Knochenmanschette

osteonale
> lamelläre Knochen
> geflecht
> knorpelig
> Pseudarthrose

nicht-osteonale - Heilung
> Hämatom
> Bindegewebe

Erkrankungen

① Hüftdysplasie
> angeboren
> w > m
> ungenügende Pfannenausbildung
> Abspreizbehandlung

② Hüftnekrose - Morbus Perthes
- mangelnde Durchblutung -
↳ absterben Knochen

③ Epiphyseolysis capitis femoris
↳ abrutschen → Schenkelhals

④ Schenkelhalsfraktur

Therapie

> Dynamische Hüftschraube
> proximal Femurnagel

Endoprothetik

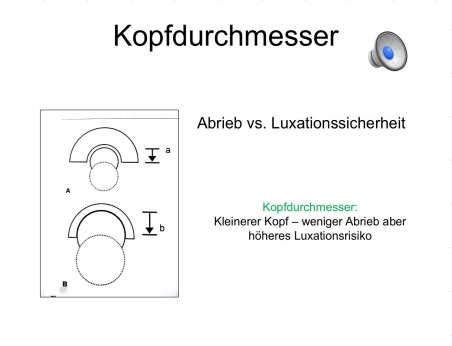
> dauerhaft / bleibende Implantate
> Gelenkersatz

anforderungen

> Haltbar
> frei Beweglich
> Knochensparende Implant.
> „genauso gut wie das echte"
> Geometrie
> Verankerung
> Gleitpaarung
> Komplikation

Totalendoprothese

> Hüftpfanne
> Inlay
- Kugelkopf → kleiner = weniger Abrieb, mehr Luxation
- Schaft
  ↳ ggf. Zement



Gleitpaare

1. Keramik - Keramik
2. Polyethylen - Keramik
3. Polyetnylen - Metall

Verankerung

> metaphysär (kurz)
> metadia (mittel)
> diaphysär (lang)


metaphysär


meta-/diaphysär



PMMA

> zementiert
  PMMA + $BaSO_4$ / ZiO + Antibiotika
  ↳ stabil, langzeit
  ↳ Fremdmaterial, Hitze, Embolien
  ↳ bei älteren Patienten

> zementfrei
  ↳ osteointegrität → (frühe Knochen integration)
  ↳ max. 2 60].
  ↳ Titanlegierung

OP-Schritte

① Fräse
② Zement
③ Implantat

Revisionsprothetik

> Langschaftprothese
> Stützschale
> Bechenteilersatz

Komplination

> lockerung
> Abrieb
> Luxation → Trennung der Gelenkpartner
> Infekt
> Nervenschaden
> schlecht gemacht
> Bruch

Osteolyse
Pseudotumor
!Ausbau!

Biomechanik bei Kinder

> Kinder sind keine Erwachsene
  ↳ wachstum → 0 – 18 Lebensalter
  ↳ Regeneration
  ↳ Extremitäten werden größer (in Proportion) 1/4 - 1/8

1 Körperproportion
2 Anatomische Begebenheiten
3 Heranwachsender Körper
4 Knochenbiologie
5 Wachstumsfugen

Kopfproportion

↳ Kleinkind → Kopf nicht heben, weil
- zu schwer
- keine Muskulatur

Heranwachsender Körper

- Beugekontraktur eines Neugeborenen
- O-Bein
- Knick-Senk-Fuß
- X-Bein (6 Jährlger)
- Innendrehfehler (9 Jährigen)

Was verwächst sich, was behandelt man?

> Klumpfuß
> Hüftdysplasie
> Beinlängendifferenz
> O-Bein → 6 Jähriger

Knochenbiologie (bei Kinder)

> Bänder sind stärker und Regenerationsfähiger, als Knochen
  ↳ z.B. bei einer Kreuzbandruptur → Riss in Knochen (nicht im KzB)

> Patella verknöchert sich erst ab dem 4. Lebensjahr

Biomechanik → kindlichen Knochen

Wachstumsfuge
> wächst in die Länge

> flexibel Knochen → weicher und biegsamer Knochen

Periost
> Breitenwachstum

Remodeling
> durch fuge & Periost → Fehlstellung
> bei Bruch → wirds Teilweise durch Längenwachstum ausgebildet

Flexible Knochen

↳ weich, biegsam

Frakturen

- Wulst
- Grünholz
- Biegung
- epiphysäre

> Schultergelenk

> angeborene Fehlstellung

> Geburtstrauma -> Nervenläsion

} orthesen

> Ellenbogengelenk

> Hangelenk

Krankheiten

=> Hüftdysplasie

> häufigste skelettdeformität

> 2 %. (in Afrika 0 %.)

=> Klumpfuß

Behandlung:

- Gipsdepression
- Achillotenotomie
- orthesenbehandlung

=> kindlicher - Knick - Senk - Fuß

↳ adulter Plattfuß

WIRBELSÄULE

> zunehmende OP Zahlen

ANATOMIE

Hals-	häufig Beschwerden	C1 - C2 (atlas/axis)
Brust-		schützt Organe, wenig beweglich
Lenden-	bei Handwerker beschwerden	Hauptgewicht des Körpers (Bandscheibenvorfall)
Kreuz-		
Steißbein		

Indikationen

> Lokalisationen des Schmerzes
> Gangbild
> Untersuchung (Palpation)
↳ Nervensystem → Hüftbeuger größeres Problem als Kniegelenk

Rückenschmerzen

▷ Red flags : Lähmung, Blasen - Mastdarmstörung
▷ Yellow flag : Chronifizierungsrisiko (depressive Stimmung)
▷ Konservative Therapie
- Analgetika → IBU, Morphium
- physikalische Maßnahmen

DIAGNOSTIK

> MRT
↳ starke Magnetfelder zur Ausrichtung der Wasserstoffprotonen

Vorteile:

> keine ionisierende Strahlung
> hohe Auflösung
> vielseitig

Nachteil

> Patient mit Prothesen, Herzschrittmacher
> Tever
> Platzangst

Bandscheibenvorfall

> austritt von Bandscheibe
↳ Kompression vom Nerv oder Rückenmark
> Der Gallertkern tritt aus → und drückt auf Nervenwurzel

Ätiologie

> über 40 J
> Lendenwirbel am meisten

Symptomatik

> Schmerz in einem Bein
> Kribbeln, Taubheit, Lähmung

ARTEN

> Prolaps → jeder 2.
(Austritt der Bandscheibe)
> Protrusion
> Sequester





Spinal Stenose

> einengung des Spinalkanals durch Knochen / Weichteile
  ↳ Kompression der Nervenstruktu
  ↳ Diagnose: Röntgen, MRT, CT

Behandlung

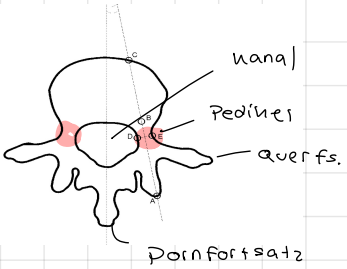
- Dekompression
  - Laminaektomie
    ↳ Lamina entfernt
- Bilateral
  ↳ beidseitige Gewebe entfernung
- Unilateral
  ↳ einseitige

Degnerative Veränderung (LW)

- osteochondrose
  ↳ erkrankung Gelenkknorpel
- spondylarthrose
  ↳ arthrose Facettengelenke
  ↳ verschleiß der Gelenke
  ↳ verbinden die einzelnden wirbelkörper miteinander
- Spondylolisthese
- Degenerative Lumbalskoliose
- Postnukleotomiesyndrom

Therapie:

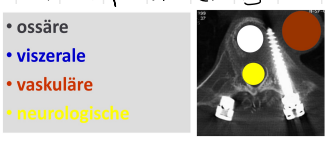
- Analgetika
- Physio
- Infiltration
- Akupunktur
- Extension



=> Pedikelschrauben
> Korrektur von Fehlstellung => Skoliose, Spondylolisthese
> Wirbel stabilisieren oder miteinander zu verbinden

Komplikation

- Infekt
- verkürzte Beweglichkeit
- Fehlplatzierung



Spondylodiszitis

Osteoporotische Fraktur

Schulter

Anatomie

Schultergürtel

Gelenken

① sternoclavicular:
> Verbindung zum Rumpf

AC & SC geben den Weg der Scapula vor

② Acromioclavicular
> planes Gelenk, variabel
> stabilisiert durch: Bänder & Muskel (M. deltoideus u. trapezius)

③ Glenohumeralgelenk
> Kugelgelenk -> bewegliches des Körpers -> Eiform
↳ Missverhältnis 1:3
> gering knöcherne Stabilität

Rotation
Rollen
Translatio

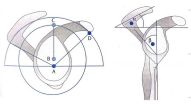
↳ **Humerus**
> Halbkugel, Röhrenknochen

Schulterdach - Fornix humeri

Besteht aus:
> Acromion
> Lig coracoacromiale

↳ mechanischer Schutz

Das Schulterdach - Fornix humeri



- Knöchern: Acromion und Proc. coracoideus
- Lig. coracoacromiale, hyaliner Knorpel an der Unterseite
- Mechanische Schutzfunktion von oben, vorne, hinten
- Zuggurtungsfunktion des Lig. coracoacromiale
  - wirkt am Proc. coracoideus dem M. pectoralis minor entgegen
  - Schutz des Acromions vor mechanischer Überlastung
- Subacromialraum unter der Fornix Humeri mit Bursae subacromialis und subdeltoideae = Supraspinatus Outlet nach Neer = Raum unter anteriorem Acromion, Lig. coracoacromiale und Schultereckgelenk → innerhalb dessen bewegt sich die Rotatorenmanschette → Impingementsyndome

Rotatorenmanschette

M. supraspinatus
M. infraspinatus -> stabilisieren -> Glenohumeralgelenk
M. teres minor -> durch Zugspannung
M. subscapularis

Die Rotatorenmanschette

Rotatorenintervall und Bizepssehnenschlinge

- **Kraniales Kapselareal am Übergang zwischen Vorderrand der SSPS und kranialen Rand der Sehne des M. Supscapularis**
  - Überdachung der langen Bizepssehne
  - Beinhaltet das SGHL und Lig. Coracohumerale als Verstärkung
- Stabilisierende Wirkung auf das Glenohumeralgelenk (Abduktion in Außenrotation)
- **Lateraler Anteil des Intervalls mit Ausbildung eines fibrösen Kanals → Bizepssehnenschlinge**
  - Feste fibröse Einscheidung als punctum fixum und Ausbildung eines Hypomochlions → Verhinderung von Scherkräften → Stabilisierung auf das Glenhohumeralgelenk
  - Läsionen: bei Subluxationen, Rotatorenmanschettendefekten

Kinematik & Biomechanik

> Kraftschlüssiges Gelenk

> Komplexes System:

Ausgleich von Beweglichkeit & Stabilität

↳ Hüftgelenk: formschlüssig

Rotatorenmanschetten

> Steuermuskulatur

> kontrolliert Bewegung → Humeruskopf

Bewegungsfreiheit

- Glenohumeralgelenk: 5 Freiheitsgrade
- Bewegung in SC & AC Gelenk
- Minimale Formschlüssig
- mobile Erweiterung

Zusammenfassung Stabilität

Stabilität im Glenohumeralgelenk erreicht durch:

- Muskelbalance der beteiligten Muskeln → kraftschlüssiges Gelenk — aktiv

- Knöcherne Formgebung
- Kapsel-Labrum-Ligamentkomplex → Bewegungseinschränkung und Bremseffekt
- Vakuumeffekt → negativer intraartikulärer Druck
- Adähsions- und Kohäsionskräfte

— passiv

. Pathologien

- **Impingementsyndrom**:
  - **Subacromial**: Engpass unter dem Schulterdach (häufig durch Dysbalancen).
  - **Subcoracoid**: Selten; Einengung zwischen Proc. coracoideus und Tuberculum minus.
  - **Inneres Impingement**: Kontakt der Rotatorenmanschette mit Glenoidrand, oft bei Überkopfsportarten.
- **Rotatorenmanschettenläsionen**:
  - Degenerativ oder traumatisch.
  - Behandlungsoptionen: arthroskopische Rekonstruktion oder offene Verfahren.
- **Arthrose**:
  - Verschleißbedingte Zerstörung des Glenohumeralgelenks, ggf. verbunden mit Sehnendefekten (Rotatorensehnendefektarthropathie).

4. Behandlungsmöglichkeiten

Arthroskopie:

- Minimal-invasive Methode zur Diagnose und Behandlung von Impingement, Rotatorenmanschettenläsionen und Instabilitäten.
- Verfahren:
  - Spannungsfreie Rekonstruktion der Sehnen.
  - Fixationstechniken: Single-Row, Double-Row, Suture-Bridge.

Endoprothetik:

- **Anatomische Prothesen**:
  - Rekonstruktion der natürlichen Anatomie.
  - Anwendung bei primärer Omarthrose.
- **Inverse Prothesen**:
  - Umkehrung der Gelenkanatomie bei defekter Rotatorenmanschette.
  - Verlängerung des Hebelarms des M. deltoideus für bessere Funktion.

5. Materialien und Techniken

- **Fadenanker**:
  - Resorbierbare und nicht-resorbierbare Materialien (z. B. Titan, Polymere).
  - Verwendung zur stabilen Fixierung von Sehnen am Knochen.
- **Fixationstechniken**:
  - **Single-Row**: Einfacher, aber geringere Stabilität.
  - **Double-Row**: Bessere mechanische Eigenschaften, aber aufwändiger.
  - **Suture-Bridge**: Imitiert offene transossäre Fixation.