

Van mesh tot inzicht

Computationele analyse van craniofaciale dysmorfologieën en chirurgische ingrepen

Tareq Abdel Alim

Dit proefschrift richt zich op craniosynostose, een aandoening waarbij de schedelnaden van een baby te vroeg vergroeien, wat kan leiden tot een abnormale schedelvorm en ontwikkelingsproblemen. Het onderzoek legt de nadruk op het gebruik van niet-invasieve 3D-beeldvormingstechnieken, zoals fotogrammetrie, om schedel- en gelaatsstructuren te beoordelen en analyseren, zonder de noodzaak van blootstelling aan schadelijke straling. Door de ontwikkeling en validatie van een nieuwe softwaretool genaamd 'CraniumPy' wordt de manier waarop 3D-beelden (ookwel mesh genoemd) worden verwerkt gestandaardiseerd, waardoor het eenvoudiger wordt om schedelvormen te evalueren en vergelijkingen te maken tussen verschillende patiënten en centra.

Ook worden verschillende chirurgische technieken voor de behandeling van craniosynostose vergeleken, wat inzichten biedt in welke methoden het meest effectief zijn om de schedelvorm in de loop van de tijd te normaliseren. Daarnaast wordt het potentieel van conservatieve (niet-chirurgische) behandelingen in bepaalde gevallen onderzocht, wat een heroverweging van de traditionele chirurgische benadering vraagt.

Een belangrijk deel van het onderzoek introduceert geavanceerde vormanalysebenaderingen met behulp van kunstmatige intelligentie om een beter inzicht te krijgen in craniale afwijkingen. Deze methoden maken het mogelijk om complexe vormveranderingen te analyseren die verder gaan dan wat traditionele metingen kunnen vastleggen. Dit werk streeft ernaar de nauwkeurigheid en effectiviteit van de diagnose en behandeling van craniosynostose te verbeteren, met als uiteindelijk doel betere patiëntuitkomsten en een hogere kwaliteit van leven.

Wetenschappelijke samenvatting

Dit proefschrift onderzoekt het gebruik van 3D-beeldvormingstechnieken voor de beoordeling van craniosynostose, met een nadruk op de morfologische analyse van het neurocranium en de kwantificering van veranderingen in het aangezicht. Het onderzoek is opgedeeld in drie delen.

Deel I: Niet-invasieve 3D-beeldvorming bespreekt de basisprincipes en toepassingen van 3D-fotogrammetrie als een stralingsvrije methode voor het evalueren van craniosynostose. Ook worden bestaande technieken voor het analyseren van de schedelvorm in kaart gebracht. Op basis van deze inzichten wordt een nieuwe softwaretool, 'CraniumPy', geïntroduceerd die 3D-beelden gestandaardiseerd verwerkt en automatische cefalometrische metingen mogelijk maakt. Deze tool is gevalideerd en biedt een betrouwbaar alternatief voor handmatige metingen.

Deel II: Morfologische analyse van het neurocranium focust op craniale afwijkingen bij niet-syndromale craniosynostose, met de nadruk op de evaluatie van verschillende chirurgische technieken en hun potentie in het normaliseren van de schedelvorm. In dit deel wordt het belang van een vroege diagnose benadrukt, waardoor minimaal invasieve ingrepen nog mogelijk zijn voor de behandeling van sagittale synostose. In het geval van milde tot matige trigonocefalie suggereren de eerste resultaten dat chirurgische ingrepen niet altijd tot betere resultaten leiden en dat de langetermijneffectiviteit van chirurgische ingrepen in vergelijking met conservatieve benaderingen ter discussie staat, wat het belang van verder onderzoek onderstreept. Daarnaast wordt een AI-gebaseerde benadering geïntroduceerd om de ernst van craniale vormafwijkingen te kwantificeren, wat een nieuwe dimensie toevoegt aan de traditionele methoden.

Deel III: Faciale morfologische analyse richt zich op de gezichtsanalyse bij patiënten met syndromale craniosynostose. Een geautomatiseerd algoritme voor het meten van gezichtsasymmetrie wordt gepresenteerd, samen met analyses van veranderingen in zowel zacht weefsel als het skelet na chirurgische distractie van het middegezicht. De resultaten bieden objectieve inzichten in de behaalde resultaten van verschillende chirurgische technieken en de relatie tussen veranderingen in zacht en hard weefsel.

Dit onderzoek draagt bij aan een beter begrip van craniosynostose en biedt geavanceerde hulpmiddelen voor de diagnostiek en behandeling van deze complexe aandoening.

Belangrijkste bevindingen:

1. **Ontwikkeling van CraniumPy:** Een nieuwe open-source softwaretool, 'CraniumPy,' is geïntroduceerd en gevalideerd. Als open-source software is CraniumPy vrij toegankelijk, inclusief alle broncode, wat betekent dat onderzoekers en klinici de tool kunnen gebruiken en aanpassen voor hun specifieke behoeften. Deze tool biedt een gestandaardiseerde methode voor de verwerking van 3D-beelden en het automatisch bepalen van cefalometrische metingen, wat een betrouwbaar alternatief vormt voor handmatige metingen. Ook is een nieuw algoritme voor de objectieve bepaling van asymmetrie geïmplementeerd.
2. **Vergelijking van chirurgische technieken bij scaphocefalie:** Bij de evaluatie van drie verschillende chirurgische technieken voor de behandeling van scaphocefalie, bleek uit de analyse van meer dan 300 3D-beelden dat alle technieken effectief waren in het normaliseren van de schedelvorm. Echter, sommige ingrepen zijn invasiever en complexer, wat het belang van een vroege diagnose onderstreept. Bij een diagnose vóór de leeftijd van zes maanden is een minimaal invasieve ingreep nog mogelijk, waarmee hetzelfde resultaat kan worden bereikt als met een complexere operatie op latere leeftijd.
3. **Her-evaluatie van conservatieve behandelingen bij trigonocefalie:** De eerste resultaten van een 3D-analyse van het voorhoofd bij vierjarige patiënten met trigonocefalie, verdeeld over een chirurgische en conservatieve groep, laten zien dat chirurgische ingrepen, vooral in milde tot matige gevallen, niet altijd tot de beste resultaten leiden. Dit roept vragen op over de langetermijneffectiviteit van chirurgie en benadrukt de noodzaak van verder onderzoek naar conservatieve benaderingen.
4. **AI-gebaseerde ernstbepaling:** In dit proefschrift wordt een AI-gebaseerde benadering geïntroduceerd voor het kwantificeren van craniale vormafwijkingen, die een meer holistische evaluatie van schedelafwijkingen mogelijk maakt dan traditionele methoden. Met deze techniek kan een objectieve score worden bepaald die de ernst van de schedelafwijkingen zowel voor als na een operatie nauwkeurig kwantificeert. Door gebruik te maken van een laag-dimensionale representatie wordt de privacy van patiënten volledig beschermd, wat de toepassing van deze techniek in multi-center studies vergemakkelijkt.