

Vrtanje v sklepni del kosti s čistim vodnim curkom: študija izvedljivosti *in vitro*

Steven den Dunnen^{1*} – Gert Kraaij^{1,4} – Christian Biskup³ – Gino M.M.J. Kerkhoffs² – Gabrielle J.M. Tuijthof^{1,2}

¹ Tehniška univerza v Delftu, Oddelek za biomehanski inženiring, Nizozemska

² Akademski medicinski center, Amsterdam, Oddelek za ortopedsko kirurgijo, Nizozemska

³ (prej) Leibnizova univerza v Hannoveru, Institut za materiale, Nemčija

⁴ Univerzitetni medicinski center Leiden, Oddelek za ortopedijo, Nizozemska

Tehnologija vodnega curka bi lahko postala zanimiva za klinično uporabo pri obdelavi žilavih človeških tkiv, kot je sklepni del kosti, saj zagotavlja čiste in ostre reze brez pregrevanja tkiva. Poleg tega je možen tudi dovod vode prek gibkih cevi, s čimer se odpirajo možnosti za minimalno invaziven kirurški dostop. Za vrtanje v trde industrijske materiale se vodi dodajajo abrazivi (trdi togi delci), ki izboljšajo zmogljivost vrtnja, ki pa lahko povzročijo težave z biozdržljivostjo v kliničnem okolju. Cilj te študije je zato ugotoviti izvedljivost *vrtanja s čistim vodnim curkom* v sklepni del kosti. Podrejeni cilj je ugotavljanje variabilnosti minimalnega tlaka penetracije zaradi heterogenosti kosti ter globalna analiza oblike lukenj v kosteh.

Glavni parameter, ki določa zmogljivost obdelave z vodnim curkom, je hitrost vode ob trku z obdelovancem. Zveza med hitrostjo vodnega curka $v_{lekočine}$ (m/s), vodnim tlakom P (N/m²) in gostoto ρ (kg/m³) je podana z Bernoullijevo enačbo, En. (1). Vrednost ρ je konstantna, zato je hitrost vodnega curka odvisna samo od tlaka vode. Izbrali smo torej spreminjanje tlaka. Na rezultate vrtnja razen hitrosti vodnega curka v veliki meri vplivajo tudi mehanske lastnosti materiala. Kostno tkivo je heterogen material, katerega mehanske lastnosti se spreminjajo znotraj kosti in med kostmi, zato so bili preizkušeni vzorci štirih različnih vrst za preučitev možnosti uporabe tehnologije vodnega curka pri različnih kostnih tkivih.

Vodni curek z razponom tlaka med 20 in 120 MPa v korakih po 10 MPa je bil uporabljen za vrtanje slepih lukenj v posteriorno sklepno površino petnice petih človeških, šestih ovčjih, petih kozjih in štirih prašičjih kadavrskih kosti. Uporabljen je bil premer šobe 0,6 mm, čas curka 5 sekund in oddaljenost od 2,5 do 5,5 mm. Odvisno od velikosti sklepne površine je bilo v vsak vzorec pravokotno na površino kosti izvrtanih od 6 do 9 lukenj v razmaku vsaj 4 mm. Globina luknje je bila izmerjena z 0,3-milimetrsko merilno uro. Po en vzorec od vsake vrste je bil preiskan z μ CT skenerjem, pri čemer je bila ugotovljena oblika izvrtanih lukenj.

Čisti vodni curek je uporaben za vrtanje lukenj v subhondralno kost. Minimalni tlak za vrtanje v subhondralno kost človeške, kozje, ovčje in prašičje petnice je bil 37 (SD 10), 36 (SD 5,9), 62 (SD 8,5) in 56 MPa (SD 5,8). Globina rezanja se v splošnem povečuje s tlakom. Postopno povečevanje globine je najbolj očitno pri kozjih in človeških vzorcih, medtem ko pa je večji raztros pri ovčji in človeški kosti. μ CT skeni so dosledno pokazali, da vodni curek ustvarja luknje konične oblike od subhondralne ploskve v trabekularno kost.

Študija je pokazala, da je možno vrtanje slepih lukenj v sklepni del kosti s čistim vodnim curkom. Minimalni vodni tlak je bil med 36 (povprečna kozja kost) in 62 MPa (povprečna ovčja kost). Variabilnost minimalnega vodnega tlaka med vrstami ter med primerki iste vrste kaže, da se pri istem tlaku pojavljajo različne globine lukenj. Odstopanja so lahko posledica razlik v volumskem deležu kosti ter v debelini hrustanca, subhondralnih in trabekularnih slojev kosti.

Rezultati so skladni z En. 1, ki napoveduje povečanje globine luknje ob povečanju vodnega tlaka. Premer lukenj se zmanjšuje z naraščajočo globino, kar je mogoče pojasniti z zmanjšano hitrostjo vodnega curka na večji globini zaradi trka z vodo, ki se vrača iz izvrtine. Konična oblika bi bila lahko uporabna pri ortopedskem zdravljenju, npr. za pritrjevanje vijakov ali stimulacijo kostnega mozga.

Na rezultate so morda vplivali tudi omejevalni dejavniki: povečanje velikosti vzorca in manjši koraki spreminjanja vodnega tlaka so lahko prispevali k večji natančnosti določanja minimalnega tlaka.

Ekspirimenti so pokazali različne globine lukenj pri istem tlaku, kar dokazuje vpliv materialnih lastnosti kosti. Nadzor nad globino luknje, izvrtane z vodnim curkom, je nujen zaradi klinične varnosti. Zato je priporočljiv dodaten varnostni sistem, ki ob dosegu vnaprej opredeljene globine izklopi vodni curek.

Ključne besede: čisti vodni curek; vrtanje z vodnim curkom, sklepni del kosti pri sesalcih, vodni tlak, ortopedska kirurgija