

Paano Gumagana ang Cartilage (at Kung Bakit Nahihirapan itong Gumaling)

Ang pahinang ito ay isinalin ng makina at hindi pa nasusuri ng isang doktor. Ang **bersyong Ingles** ang siyang opisyal.

Ang cartilage ay ang makinis at kumikinang na ibabaw na bumabalot sa mga dulo ng mga buto sa loob ng isang joint. Ito ay isa sa mga pinaka-kahanga-hangang materyales sa katawan: mas madulas kaysa sa yelo, kayang sumalo ng load sa buong buhay, at ngunit hindi tulad ng buto at tendon, ito ay halos **walang kakayahang kumpunihin ang sarili**. Ang katotohanang ito ang nagpapaliwanag kung bakit ang pinsala sa cartilage at osteoarthritis ay mga problemang napakahirap gamutin, at kung bakit napakahalaga ng pagprotekta sa iyong cartilage. Ipinapaliwanag ng pahinang ito, sa simpleng pananalita, kung ano ang cartilage at kung bakit ito napakahirap gumaling, at pagkatapos, para sa mga nagnanais malaman, ay tatalakayin nang mas malalim ang magandang engineering ng tissue na ito at ang aktibong biology sa likod ng tinatawag nating “wear and tear”.

Ano ang cartilage at ano ang ginagawa nito

Ang cartilage na tinutukoy namin dito, ang **articular cartilage**, ay ang matigas, makinis, at puting coating na may kapal na ilang milimetro lamang sa mga dulo ng mga buto kung saan sila nagtatagpo sa isang joint. Dalawang bagay ang ginagawa nito nang mahusay:

- Ito ay isang **near-frictionless gliding surface**, kaya ang mga buto ng isang joint ay dumudulas sa isa’t isa nang halos walang resistance.
- Ito ay isang **cushion**, na nagkakalat ng load sa buong joint at pinoprotektahan ang buto sa ilalim mula sa impact.

Ang cartilage ay living tissue, ngunit isang kakaibang uri: ito ay **walang blood vessels at walang nerves**. Ang kawalan ng nerves ang dahilan kung bakit ang mismong gasgas na surface ng cartilage ay hindi masakit (ang sakit ng arthritis ay nagmumula sa ibang mga istruktura). Ang kawalan ng blood supply ang susi sa malaking kahinaan nito: hindi ito nakakapag-heal gaya ng pag-heal ng balat o buto.

Bakit nahihirapang gumaling ang cartilage

Halos sa lahat ng iba pang bahagi ng katawan, ang paggaling ay nagsisimula sa pagdurugo: nabubuo ang namuong dugo (clot), dumarating ang mga inflammatory cell, at binubuksan ng mga growth factor ang pagkukumpuni. Ang cartilage ay walang suplay ng dugo, kaya ang pinsala rito ay hindi nakakakuha ng mga bagay na iyon. Higit pa rito, ang kakaunting resident cells nito ay nakakulong sa nakapalibot na materyal at hindi makagapang patungo sa sugat upang tapalan ito.

Ang resulta ay ang gasgas o lamat na limitado lamang sa cartilage ay may tendensiyang manatili na lamang doon. Ang pinsalang mas malalim (lampas sa cartilage at papunta sa buto sa ilalim) ay maaaring mapunan, ngunit ng isang **scar-like na “fibrocartilage”** na mas mahina at hindi gaanong matibay kaysa sa orihinal. Kaya ang pinsala sa cartilage ay may tendensiyang maging permanente at dahan-dahang lumalala, na siyang dahilan kung bakit napakahalaga ng pag-iwas at proteksyon.

Ano ang tumutulong sa pagprotekta ng iyong cartilage

- **Manatiling gumagalaw.** Ang cartilage ay pinapakain ng joint fluid na pumasok at lumalabas habang ikaw ay gumagalaw; ang regular at komportableng aktibidad ay nagbibigay-nutrisyon dito, habang ang mahabang panahon ng kawalan ng aktibidad ay nagpapagutom dito.
- **Panatilihin ang malusog na timbang.** Ang bawat kilogramo ay dagdag na load sa mga joint surface.
- **Palakasin ang mga kalamnan sa paligid ng joint.** Ang malalakas na kalamnan ay naghahati sa load at sumisipsip ng shock, na nagpoprotekta sa cartilage.
- **Alagaan ang mga pinsala.** Ang isang maugong o unstable na joint ay mas mabilis na nakakapag-gasgas ng cartilage nito; ang paggamot sa instability ay nagpoprotekta sa surface.

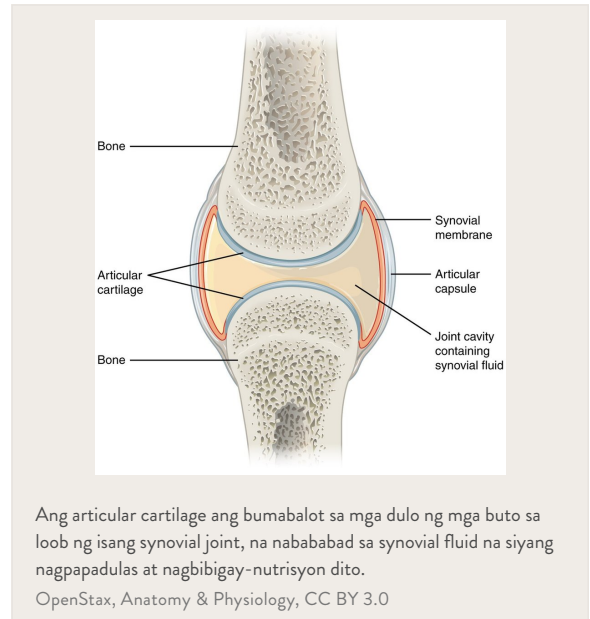
Mas malalim na pagtalakay

Ang seksyong ito ay tumataas patungo sa isang mas detalyadong paliwanag ng biyolohiya sa antas ng estudyante. Hindi ito kailangan upang maunawaan ang isang problema sa cartilage o ang paggamot nito, ngunit kung kuryoso ka kung *paano* nagiging mas madulas ang cartilage kaysa sa yelo, at kung bakit ang “wear and tear” ay isa talagang aktibong sakit, magpatuloy sa pagbabasa.

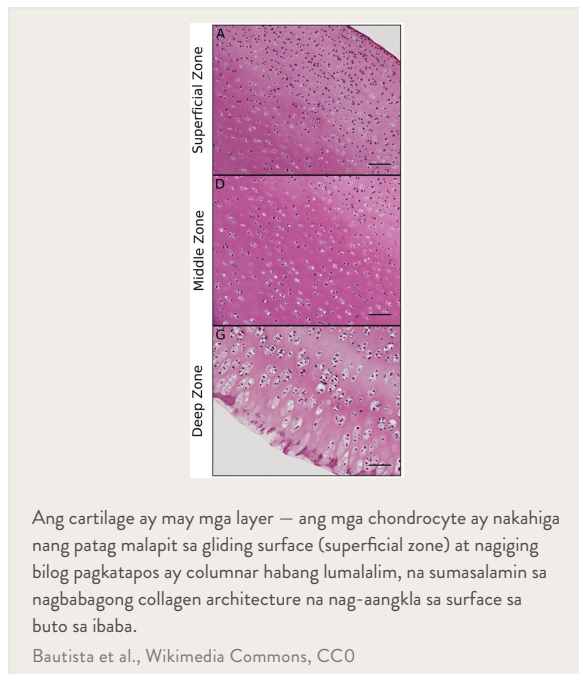
CARTILAGE BILANG BUHAY NA TISYU

Ang articular cartilage ay isang uri na tinatawag na **hyaline cartilage**. Binubuo ito ng kalat-kalat na mga cell (**chondrocytes**) na napapalibutan ng napakalaking volume ng **matrix** na ginagawa at pinapanatili ng mga cell na iyon. Ang matrix ang sikreto sa lahat ng ginagawa ng cartilage. Ito ay isang meshwork ng mga **type II collagen** fibre, na puno ng malalaki, hugis-bottle-brush, at matinding humihigop ng tubig na mga molecule na tinatawag na **proteoglycans** (pangunahing **aggrecan**), at humigit-kumulang 70–80% tubig. Ang collagen net ay lumalaban sa pagkahila; ang aggrecan ay humihigop ng tubig at lumilikha ng **swelling pressure** na lumalaban sa pagkapitpit. Sa madaling salita, ang cartilage ay isang sponge na puno ng tubig na pinapanatili sa ilalim ng tensyon sa loob ng isang fibre net.

Ito rin ay kakaibang nakahiwalay: walang mga blood vessel, walang mga nerve, walang lymphatics. Ang mga chondrocyte ay nakapuwesto sa maliliit na chamber (lacunae), dahan-dahang pinapanatili ang kanilang bahagi ng matrix, at hindi maaaring gumalaw.



ANG NEAR-FRICTIONLESS BEARING: KUNG PAANO DINADALA NG CARTILAGE ANG LOAD



Ang cartilage ay isa sa mga pinakamadulas na materyales na kilala: ang coefficient of friction nito ay humigit-kumulang **0.001**, mas mababa kaysa sa yelong dumudulas sa yelo. Nakakamit nito ito sa pamamagitan ng dalawang mekanismong nagtutulungan.

Una, ito ay **biphasic**, isang solid matrix na nakababad sa fluid. Kapag ang joint ay loaded, ang nakulong na tubig ay hindi agad makalabas, kaya ito ay nag-pe-pressurise at dinadala ang load, na sa simula ay higit sa 90% nito. Ang fluid pressure, at hindi ang solid framework, ang pumapasan sa puwersa, na katulad ng pagtayo sa isang water bed. Habang gumagalaw ang contact point (dahil patuloy kang gumagalaw), ang fluid ay lumalabas sa harap at hinihigop pabalik sa likuran. Ang **interstitial fluid pressurisation** na ito ang pangunahing dahilan kung bakit kayang dalhin ng cartilage ang malalaking load nang

may napakaliit na friction o wear.

Pangalawa, ang surface ay may dalang madulas na **boundary layer** ng mga molecule, kabilang ang **lubricin** (tinatawag ding PRG4) at **hyaluronic acid** mula sa joint fluid, na bumubuo ng isang hydrated film na pumipigil sa dalawang surface na direktang magdikit.

Ang matrix ay nakaayos din sa mga **zone**: ang mga collagen fibre ay tumatakbo nang parallel sa surface sa itaas (superficial) zone, na humahawak sa lubricating layer at lumalaban sa shear; nagiging mas random ang mga ito sa middle zone; at naka-anchor ang mga ito nang vertical sa deep zone, patungo sa isang **calcified cartilage layer** (na hinihiwalay ng isang linya na tinatawag na tidemark) na matibay na nagbubuklod sa malambot na cartilage sa matigas na buto, ang parehong engineering challenge ng pagdurugtong ng malambot sa matigas na nilulutas ng tendon enthesis.

BAKIT HALOS HINDI GUMAGALING ANG CARTILAGE

Kapag pinagsama-sama ang mga bahaging ito, nagiging malinaw kung bakit mahina ang paggaling:

- **Walang supply ng dugo** na nangangahulugang walang clot, walang inflammatory cells, at wala ang mga growth factor na nagtutulak ng repair sa ibang bahagi ng katawan.
- **Hindi gaanong makakatulong ang mga cell**: kakaunti ang mga chondrocyte, nakakulong sa matrix, at hindi nag-migrate o dumami nang sapat upang punan ang isang puwang.
- **Ang lalim ang nagtatakda ng tugon**. Ang isang **partial-thickness** defect na limitado lamang sa cartilage ay hindi kailanman nakakaabot sa dugo o marrow, kaya halos wala itong nakukuhang repair response. Ang isang **full-thickness** defect na tumatagos hanggang sa subchondral bone ay hinahayaang pumasok ang mga marrow cell at dugo, at ang mga ito ang pumupuno sa puwang, ngunit gamit ang **fibrocartilage** (type I collagen, mababa sa proteoglycan), na mechanically inferior at mas mabilis mapudpod kaysa sa tunay na hyaline cartilage.

Iyan ang pangunahing pagkadismaya sa cartilage surgery: kaya nating punan ang isang butas, ngunit hindi gamit ang tunay na materyales.

PAANO NAPAPAKAIN ANG CARTILAGE

Dahil walang sariling mga blood vessel, ang cartilage ay nakakakuha ng nutrisyon sa pamamagitan ng **diffusion mula sa synovial (joint) fluid**, at ang diffusion na ito ay itinutulak ng **paggalaw at loading**. Sa tuwing ang joint ay niloload at inu-unload, ang fluid at mga nutrient ay pino-pump papasok at palabas ng cartilage (katulad ng paraan kung paano pinapakain ng paggalaw ng daliri ang isang naghihilom na flexor tendon). Kaya ang cartilage ay tunay na **nangangailangan ng cyclic loading upang manatiling healthy**: ang matagal na immobilisation o unloading ay nagpapababa ng kalidad nito, habang ang katamtaman at regular na aktibidad ay nagpapanatili nito. Ang linya ng physiotherapist na “motion is lotion” ay may tunay na biological basis dito.

OSTEOARTHRITIS: KAPAG NASISIRA ANG CARTILAGE

Ang Osteoarthritis (OA) ay karaniwang tinatawag na “wear and tear”, ngunit kulang ito sa paglalarawan: ito ay isang aktibong biological process, hindi lamang mechanical erosion.

Sinisimulan ng mechanical overload, pinsala, pagtanda o joint instability, ang mga chondrocyte ay lumilipat sa isang destructive mode. Pinapataas nila ang mga matrix-digesting enzyme (**MMPs** gaya ng MMP-13, at

aggrecanases gaya ng ADAMTS-4 at -5) na sumisira sa type II collagen at aggrecan nang mas mabilis kaysa sa kaya itong palitan. Nawawala sa matrix ang water-holding proteoglycan nito, lumalambot, at naghihimulmol. Nagbabago rin ang katangian ng mga chondrocyte (isang shift na tinatawag na **hypertrophy**), ang cartilage ay nagsisimulang mag-calcify at tumanggap ng mga blood vessel, ang **subchondral bone** ay kumakapal at bumubuo ng mga bony spur (**osteophytes**), at ang joint lining (**synovium**) ay nagiging bahagyang inflamed, na naglalabas ng mga signal gaya ng IL-1 at TNF na nagpapatuloy sa cycle. Dahil ang cartilage ay hindi maaaring mag-regenerate, ito ay halos isang one-way street, kung kaya't ang pangangalaga sa OA ay nakatuon sa offloading, strengthening at weight management, at, kapag wala na ang cartilage, joint replacement.

PAG-AAYOS NG CARTILAGE: KUNG BAKIT ITO NAPAKAHIRAP

May iba't ibang operasyon na sumusubok na ibalik ang isang damaged surface, at ang dahilan kung bakit walang perpektong lunas ay direktang nag-uugat sa biyolohiyang nabanggit sa itaas:

- **Microfracture** nagbubutas ng maliliit na butas sa subchondral bone upang papasukin ang mga marrow cell. Bumubuo sila ng **fibrocartilage**, na kapaki-pakinabang sa maikling panahon ngunit may tendensiyang lumala pagkatapos ng ilang taon.
- **Osteochondral transfer (OATS / mosaicplasty)** naglilipat ng mga plug ng cartilage-at-buto mula sa bahagi ng joint na hindi gaanong nabibigatan. Ito ay tunay na hyaline cartilage, ngunit limitado ang supply.
- **Cell therapy (ACI / MACI)** pinapalaki ang sariling chondrocytes ng pasyente sa isang laboratoryo at muling itinatanim ang mga ito; ang approach na ito ay promising ngunit technically demanding at hindi pa rin perpekto.

Wala sa mga ito ang maaasahang nakakagawa muli ng orihinal na layered hyaline cartilage kasama ang tumpak na zonal architecture at lubrication nito. Kapag ang cartilage ng buong joint ay pudpod na, ang definitive answer ay nananatiling **joint replacement**.

ANO ANG NAKAKATULONG AT NAKAKASAMA SA CARTILAGE

- Ang **paggalaw at katamtamang loading** ay nagbibigay-nutrisyon at nagpapanatili sa cartilage; ang matagal na immobilisation ay nakakasama rito.
- Ang **sobrang timbang at joint instability** ay nagpapabilis sa pagkasira nito; ang **malalakas na nakapalibot na kalamnan** ay nagpoprotekta rito.
- Ang mga **pinsala (injuries)**, lalo na ang mga nagdudulot ng instability sa joint o sumisira sa surface, ay nagpapataas ng long-term risk ng osteoarthritis.
- At ang masakit na katotohanan sa buong pahinang ito: kapag malubha nang napinsala, ang cartilage ay **hindi na tumutubo muli**. Halos wala nang ibang tissue kung saan mas mahalaga ang prevention.

Tingnan din

- [Osteoarthritis](#) – ano ang nangyayari kapag nasisira ang cartilage sa isang joint
- [Paano gumagaling at nag-remodel ang buto](#) – ang subchondral bone na nasa ilalim ng cartilage

- Pananatiling aktibo para sa kalusugan ng joint – kung bakit pinoprotektahan ng paggalaw ang iyong mga joint
- Timbang, obesity at kalusugan ng joint – kung paano naaapektuhan ng load ang cartilage