དབང་རྒྱལ་ཚན་རིག་གི་ཕྱོགས་འཛིའི་སྒྲིག་བཟོ་ལས་ཁུངས།

དབང་རྒྱལ་གཟུགས་དང་དེ་དག་གི་ཕྲ་གཞག

Neuroscience Primer II

Neurons & Neuronal Activities

Emory-Tibet Science Initiative

དབང་ཆུའི་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པ།

ཞེ་ཚོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ།

དབང་ཆ་ཕྱག་རྒྱག་སྐད་དང་དེ་དག་གི་ཐུ་གཉན།

EMORY UNIVERSITY

LIBRARY of Tibetan Works & Archives

ཞེ་ཚོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་དང་བོད་ཀྱི་དབེ་ཚཕོད་ཁང་ཐུན་མོང་ནས་ཟླུན་འདོན་ཐེལ་ལ་བྱས།

ETSI Neuroscience Primer II

Neurons & Neuronal Activities

Written and organized by **Arri Eisen, Wendy Hasenkamp, Jennifer Mascaro, and Carol M. Worthman**

Translated by **Geshe Dadul Namgyal**

Emory - Tibet Science Initiative

SCIENCE PRIMERS

དབང་ཆུའི་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པ།

དབང་ཆ་ཐག་བཟློག་དང་དེ་དག་གི་ཐུ་གཉག

ཆོས་སྒྲིག་པ། ཤ་རི་ཤཡི་ཪོན། ཕེནྟི་ཅེ་ཅེ་སེན་ཀེམཁ། རེ་ཤེ་ཁར་ཨེསི་ཀ་ཀོ། ཁེ་ཀོལ་ཚོངཁ་ཨེན།

ཡིག་སྒྱུར་བ། དགེ་བཤེས་དབུ་འདུལ་ཆོས་རྒྱལ།

ཨེ་ཨོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ཡས་རིམ།

ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ།

རྩོམ་པ་པ།	ཨ་རི་ཨཡི་ཛོན། ཞེནཀྟེ་ཀེ་ས་ནོན་ཀེམཐ། རེ་ཀེ་ཡང་ཨེས་ཀ་ངོ། ཁེ་ཙོལ་ཚོངཌ་ཨེན།
ཡིག་སྒྱུར་བ།	དགེ་བཤེས་དབུ་འདུལ་རྒྱམ་རྒྱལ།
འགྱུར་ཡིག་ཁྲ་དག་པ།	དགེ་བཤེས་ལྷག་རྡོར། བཙོན་འགྲས་བསམ་འཛེལ།
རྒྱབ་ཞོག་དང་ཏྲས་འགོད།	བསྟན་འཛིན་མིག་དམར།

Written by:	Arri Eisen, Wendy Hasenkamp, Jennifer Mascaro, and Carol Worthman
Translated by:	Geshe Dadul Namgyal
Translation Reviewed by:	Geshe Lhakdor and Tsondue Samphel
Layout and design by:	Tenzin Migmar

ཀྲོན་ལྷེད་དང་ཡེགས་གསོལ།

Foreword and acknowledgements

THE DALAI LAMA

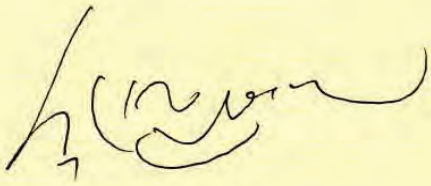
FOREWORD

Despite their obvious differences, science and Buddhism share several key features in common. Both are committed to empirical observation, the testing of hypotheses, avoiding blind adherence to dogma, and cultivating a spirit of openness and exploration. Most importantly, Buddhism and science share as a fundamental aim the contribution they can make to humanity's well-being. While science has developed a deep and sophisticated understanding of the material world, the Buddhist tradition has evolved a profound understanding of the inner world of the mind and emotions and ways to transform them. I have no doubt that improving collaboration, dialogue and shared research between these two traditions will help to foster a more enlightened, compassionate, and peaceful world.

I have long supported the introduction of a comprehensive science education into the curriculum of the traditional Tibetan monastic educational system. When I first heard that Emory University proposed to develop and implement such a science education program for Tibetan monks and nuns in collaboration with the Library of Tibetan Works and Archives, I thought it would take many years. When I visited Emory University in October 2007, I was genuinely surprised to be presented with the first edition of a science textbook for Tibetan monks and nuns, the result of more than a year's work by a team of dedicated scientists and translators at Emory.

By extending the opportunities for genuine dialogue between science and spirituality, and by training individuals well versed in both scientific and Buddhist traditions, the Emory-Tibet Science Initiative has the potential to be of great meaning and significance to the world at large. Once more, the creation of this primer series, presented in both Tibetan and English, is a clear tribute to the commitment and dedication of all those involved in this project. With the preparation having been done with such care, I am confident that the long-term prospects for this project are bright.

I congratulate my friend Dr. James Wagner, President of Emory University, the science faculty and translators of the Emory-Tibet Science Initiative, and everyone who has lent their support to this project for achieving so much in such a short time and offer you all my sincere thanks.



4 October 2010

Translation

THE DALAI LAMA

སྔོན་གླེང་།

ཚན་རིག་དང་ནང་ཆོས་གཉིས་དབར་མངོན་གསལ་དོད་པའི་ཁྱད་པར་ཡོད་པ་དེ་ལྟར་ཡང་། འདི་གཉིས་ཀར་གནད་ཆེ་བའི་ཁྱད་ཆོས་ཐུན་མོང་བ་ཡང་མང་དག་ཅིག་ཡོད་པ་སྟེ། ཕྱོགས་གཉིས་ཀས་སྤྱོང་བ་མངོན་སུམ་ལ་བརྟེན་པའི་འཚོལ་ཞིབ་བྱེད་པ་དང་། ཚོད་རྩིས་ལ་དངོས་བཤེར་བྱེད་པ། ལྟ་གྲུབ་ལ་རྫོངས་ཞེན་སྤོང་བ། དཀྱིལ་ཡངས་དང་འཚོལ་ཞིབ་ཀྱི་སྙིང་སྟོབས་སྐྱེད་པ་བཅས་ལ་ཚད་འཛིན་བྱེད་པ་དེ་རེད། དེ་བས་ཀྱང་གལ་ཆེ་བ་ཞིག་ནི་ནང་ཆོས་དང་ཚན་རིག་གཉིས་ཀར་མིའི་རིགས་ཀྱི་བདེ་ཐབས་ཐད་རང་ནུས་གང་ཡོད་ཀྱིས་ཞབས་འདེགས་ཞུ་རྒྱུའི་གཞི་རྩའི་དམིགས་ཡུལ་འདི་གཅིག་མཚུངས་སུ་ཡོད་པ་དེ་རེད། ཚན་རིག་ལ་ཕྱིའི་དངོས་པོའི་འཇིག་རྟེན་ཐད་ལ་གཏིང་ཟུགས་ཤིང་གཞན་དྲིང་མི་འཇོག་པའི་གོ་རྟོགས་ཤིག་རྙེད་ཡོད་པ་དང་དུས་མཚུངས་སུ། ནང་པའི་ལྟ་གྲུབ་ལ་ཡང་ནང་སེམས་ཀྱི་འཇིག་རྟེན་དང་མྱོང་ཚོར། དེ་དག་བློ་སྦྱོང་བྱེད་ཐབས་སོགས་ཀྱི་ཐད་ལ་ཟབ་ཅིང་བརླིང་བའི་གོ་རྟོགས་རྙེད་ཡོད། དེར་བརྟེན། སྲོལ་རྒྱུན་འདི་གཉིས་དབར་གྱི་མཉམ་ལས་དང་། བགྲོ་གླེང་། མཉམ་དཔྱོད་ཀྱི་བྱ་གཞག་སོགས་གོང་འཕེལ་གཏོང་བ་བརྒྱུད་ནས་ད་ལྟ་ལས་ཀྱང་གོ་རྟོགས་གསལ་ཞིང་། སྙིང་རྗེས་ཁྱབ་པ། ཞི་བདེ་ཅན་གྱི་འཇིག་རྟེན་ཞིག་བསྐྲུན་ཐུབ་པར་ང་ལ་ཐེ་ཚོམ་མི་འདུག

བོད་ཀྱི་དགོན་སྡེ་ཁག་གི་རྒྱུན་སྲོལ་ཤེས་ཡོན་ལམ་ལུགས་ཀྱི་སློབ་ཚན་ཁྲོད་དུ་ཚན་རིག་གི་སློབ་ཚན་ཆ་ཚང་བ་ཞིག་ངོ་སྤྲོད་བྱེད་རྒྱུའི་ཐད་ལ་ངས་དུས་ཡུན་རིང་པོ་ཞིག་ནས་རྒྱབ་སྐྱོར་བྱས་པ་ཡིན། དང་ཐོག་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་དང་བོད་ཀྱི་དཔེ་མཛོད་ཁང་གཉིས་མཉམ་འབྲེལ་གྱིས། བོད་ཀྱི་གྲྭ་བཙུན་རྣམས་ལ་ཚན་རིག་སློབ་སྦྱོང་གི་ལས་རིམ་ཞིག་འཆར་འགོད་དང་ལག་བསྟར་བྱེད་རྒྱུ་ཡིན་སྐོར་ཐོས་སྐབས། དེ་ནི་ལོ་མང་འགོར་རེས་ཀྱི་ལས་གཞི་ཞིག་རེད་བསམས་བྱུང་། དེ་ནས་༢༠༠༧ལོའི་ཟླ་༡༠པའི་ནང་ང་རང་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་ལ་བསྐྱོད་སྐབས། ལོ་གཅིག་ལྷག་ཙམ་གྱི་དུས་ཡུན་ནང་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གྲྭའི་ཆེད་ལས་ཚན་རིག་པ་རྣམས་དང་ལོ་ཙཱ་བ་རྣམས་ཀྱིས་འབད་པ་བྱས་པའི་གྲུབ་འབྲས་ཏེ། གྲྭ་བཙུན་རྣམས་ལ་ཆེད་དུ་བསྒྲིགས་པའི་ཚན་རིག་སློབ་དེབ་ཐོག་མ་དེ་བསྟན་བྱུང་བས། དགོས་གནས་ཡིད་མ་ཆེས་པ་ལྟ་བུ་ཞིག་བྱུང་།

ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདིས་ཚན་རིག་དང་ནང་དོན་རིག་པའི་དབར་དོན་དམ་གྱི་བགྲོ་གླེང་ཡོང་བའི་གོ་སྐབས་བསྐྲུན་པ་དང་། ཚན་རིག་དང་ནང་རིག་པ་གཉིས་ཀར་བྱུང་རྩུབ་པའི་སྐྱེ་བོ་སྐྱེད་སྲིང་བྱེད་པ་བཅས་བརྒྱུད་ནས། འཛམ་གླིང་སྤྱི་ལ་གལ་འགངས་ཆེ་བ་དང་དོན་སྙིང་ལྡན་པའི་ལས་རིམ་ཞིག་ཏུ་འགྱུར་པའི་ནུས་པ་ལྡན་ཡོད། ད་ཆ་སྔར་ཡང་བོད་དབྱིན་ཤན་སྦྱར་དུ་ཡོད་པའི་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་འདི་དག་བསྒྱུར་སྐྲུན་ཐུབ་པ་འདིས། ལས་རིམ་འདིར་གཏོགས་པའི་སྐྱེ་བོ་ཀུན་གྱི་ཆོད་སེམས་དང་ལྷག་བསམ་གྱི་ཆེ་བ་གསལ་བོར་མཚོན་པ་ཞིག་རེད། འདི་ལྟའི་དོ་ཁུར་ཆེན་པོས་གྲུབ་སྒྲིག་བྱས་པས། ལས་རིམ་འདིའི་འབྱུང་འགྱུར་ནི་འོད་སྣང་ལྡན་པ་ཞིག་ཏུ་འགྱུར་རྒྱུར་ང་ལ་གདེང་ཚོད་འདུག

ངས་རང་ཉིད་ཀྱི་གྲོགས་པོ་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་གཙོ་འཛིན་སྐུ་ཞབས་ཇེམ་སེ་ཝེག་ནར་དང་། ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་གྱི་ཚན་རིག་སློབ་དཔོན་རྣམས་པ། ལོ་ཙཱ་བ་རྣམས་པ། གཞན་ཡང་ལས་རིམ་འདི་ཉིད་ལ་རྒྱབ་སྐྱོར་གནང་མཁན་ཡོངས་ལ་དུས་ཡུན་ཐུང་ཐུང་འདི་འདྲ་ཞིག་གི་ནང་དུ་འདི་ལྟའི་ལེགས་གྲུབ་བྱུང་བར་ལེགས་གསོལ་དང་ཐུགས་རྗེ་ཆེ་ཞུ་རྒྱུ་ཡིན།

ཏཱ་ལའི་བླ་མས།

༢༠༡༠ ལོའི་ཟླ་༡༠ ཚེས་༩ ཉིན།

EMORY

Office of the President

Education is one of the most potent tools we have for ensuring a better world for ourselves and for generations to come. To be truly effective, however, education must be used responsibly and in service to others. This ideal of an education that molds character as well as intellect is the vision on which Emory University was founded, and the challenges of our time show that the need for such education is as great as ever.

This vision is one that His Holiness the Dalai Lama shares deeply, and it is the reason for the close relationship that has emerged between His Holiness and Emory over the past two decades. On October 22, 2007, it was my pleasure and privilege to welcome His Holiness to Emory to be installed as Presidential Distinguished Professor and to join our community as a most distinguished member of our faculty.

The interdisciplinary and international nature of the Emory-Tibet Science Initiative, the most recent and ambitious project of the Emory-Tibet Partnership, is an example of Emory University's commitment to courageous leadership for positive transformation in the world. This far-reaching initiative seeks to effect a quiet revolution in education. By introducing comprehensive science instruction into the Tibetan monastic curriculum, it will lay a solid foundation for integrating insights of the Tibetan tradition with modern science and modern teaching, through genuine collaboration and mutual respect. The result, we trust, will be a more robust education of both heart and mind and a better life for coming generations.

The Emory-Tibet Partnership was established at Emory in 1998 to bring together the western and Tibetan traditions of knowledge for their cross-fertilization and the discovery of new knowledge for the benefit of humanity. This primer and its three companion primers are splendid examples of what can be accomplished by the interface of these two rich traditions. We at Emory University remain deeply committed to the Emory-Tibet Science Initiative and to our collaboration with His Holiness and Tibetan institutions of higher learning.

To the monastic students who will benefit from these books, I wish you great success in your studies and future endeavors.

James W. Wagner
President

Emory University
Atlanta, Georgia 30322

Translation

EMORY | Office of the President

ཤེས་ཡོན་ནི་ང་ཚོ་རང་ཉིད་དང་ཛེ་ས་རབས་པ་དག་ལ་འཚོ་གནས་ཀྱི་ཁོར་ཡུག་ལེགས་པོ་ཞིག་བསྐྲུན་པར་ཁག་ཐེག་བྱེད་པའི་ལག་ཆ་གལ་ཆེ་ཤོས་གྲས་ཤིག་ཡིན། དེ་ལྟ་ནའང་། ཤེས་ཡོན་དེ་ཉིད་དོན་དམ་པའི་ནུས་ལྡན་ཞིག་ཏུ་བསྒྱུར་བ་ལ་དེ་ཉིད་འཕགས་འགྱུར་གྱི་བསམ་པས་ཐེན་ཞིང་གཞན་ཕན་གྱི་ཆེད་དུ་བཀོལ་དགོས་པ་ཡིན། ཀུན་སྤྱོད་དང་རིག་སྟོབས་གཉིས་ཀ་ལེགས་པར་སྦྱོང་བའི་ཡུལ་ལྡང་གི་ཤེས་ཡོན་དེ་འདྲ་ཞིག་སྤེལ་རྒྱུ་ནི་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་འདི་བཙུགས་པའི་ཕུགས་བསམ་ཡིན་ཡང་ཚོའི་ད་ལྟའི་དཀའ་རྙོག་དག་གིས་དེ་ལྟའི་ཤེས་ཡོན་གྱི་རྣམ་པ་དེ་ནི་དུས་ཀུན་ཏུ་དགོས་མཁོ་ཆེན་པོ་ཞིག་ཡིན་པ་སྟོན་བཞིན་ཡོད།

འདི་ནི་༧སྐྱབས་མགོན་༧གོང་ས་ཏཱ་ལའི་བླ་མ་མཆོག་གིས་ཀྱང་གཙིགས་སུ་བཟུང་བའི་ཕུགས་བསམ་ཞིག་ཡིན་ལ། འདས་པའི་བགྲང་བྱ་བཅུ་ཕྲག་གཉིས་ལྷག་གི་རིང་ལ་༧གོང་ས་མཆོག་དང་ཨེ་མོ་རི་གཉིས་དབར་འབྲེལ་བ་ཟབ་མོ་ཞིག་བྱུང་བའི་རྒྱུ་མཚན་ཡང་འདི་ཉིད་ཡིན། སྤྱི་ལོ་ ༢༠༠༧ ལོའི་ཟླ་༡༠ ཚེས་ ༢༢ ཉིན་༧གོང་ས་མཆོག་ཨེ་མོ་རིའི་ཁྱད་འཕགས་གཙུག་ལག་སློབ་དཔོན་ཆེན་མོར་མངའ་གསོལ་དང་། ང་ཚོའི་ཚོགས་སྡེ་འདིའི་ཚེས་ཁྱད་དུ་འཕགས་པའི་སློབ་དཔོན་དུ་བཞུགས་པར་ཕེབས་བསུ་ཞུ་ཐུབ་པ་བྱུང་བ་ནི་བདག་གི་སྤྲོ་སྣང་དང་བསོད་ནམས་ཡིན།

ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་མཐུན་ཚོགས་ཀྱི་ཆེས་གསར་པ་དང་ཆེས་མངོན་འདོད་ཆེ་བའི་ལས་རིམ་སྟེ། ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདིའི་རིག་གཞུང་སྣ་མང་དང་རྒྱལ་སྤྱིའི་རང་བཞིན་གྱི་རྣམ་པ་འདི་ནི་འཛམ་གླིང་འདི་ཉིད་ལེགས་ཕྱོགས་སུ་ཁ་ལོ་བསྒྱུར་བར་སྙིང་སྟོབས་ཆེན་པོས་སྐྱེ་ཁྲིད་རྒྱུའི་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་ཚོད་སེམས་མཚོན་པའི་དཔེ་མཚོན་ཞིག་ཡིན། ཕུགས་རྒྱང་རིང་བའི་ལས་རིམ་འདིས་ཤེས་ཡོན་གྱི་ལོ་རྒྱུས་ཁྲོད་དུ་གསར་བརྗེ་འཛམ་པོ་ཞིག་བསྐྲུན་པར་སྟེག་གིན་ཡོད། བོད་ཀྱི་དགོན་སྡེའི་སློབ་གསོའི་ཁྲོད་དུ་ཚན་རིག་གི་སློབ་ཚན་ཆ་ཚང་བ་ཞིག་ངོ་སྤྲོད་བྱེད་པ་འདིས། དོན་དམ་པའི་མཉམ་ལས་དང་ཕན་ཚུན་བརྩི་བཀུར་བྱེད་པ་བརྒྱུད། དེང་རབས་ཚན་རིག་དང་དེང་རབས་སློབ་ཁྲིད་ཐབས་ལམ་གཉིས་བོད་ཀྱི་སྲོལ་རྒྱུན་རིག་གནས་ཀྱི་ལེགས་བྱང་དག་དང་འགལ་མེད་གྲོགས་སུ་འཕྲོད་པར་རྨང་གཞི་བརྟན་པོ་ཞིག་འདིང་ངེས་རེད། འདིའི་མཇུག་འབྲས་སུ་བྱམས་བརྩེ་དང་རྣམ་དཔྱོད་གཉིས་ཀ་སྦྱར་བས་ཀྱང་ལེགས་པར་སྦྱོང་བའི་སློབ་གསོ་ཞིག་བཀོད་སྒྲིག་འཛིན་རྒྱུ་དང་། འབྱུང་འགྱུར་མི་རབས་དག་གི་འཚོ་བ་ཏེ་ལེགས་སུ་འགྱུར་རྒྱུ་ཡིན་པར་ང་ཚོས་ཡིད་ཆེས་བྱེད་ཆོག

ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་མཐུན་ཚོགས་འདི་ནི་འགྲོ་བ་མིའི་ཕན་ཐབས་ཀྱི་ཆེད་དུ་ནུབ་ཕྱོགས་དང་བོད་ཀྱི་སྲོལ་རྒྱུན་ཤེས་བྱ་གཉིས་གཞི་གཅིག་ཏུ་འཛོམས་ནས་ཕན་ཚུན་ལེགས་ཆ་སྤེལ་རེས་དང་གོ་རྟོགས་གསར་སྤེལ་བྱེད་པའི་ཆེད་སྤྱི་ལོ་༡༩༩༨ ལོར་ཨེ་མོ་རིར་དབུ་བཙུགས་ཤིང་། སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་འདི་དང་གཞན་གསུམ་པོ་དེ་ནི་སྲོལ་རྒྱུན་ཟབ་མོ་འདི་གཉིས་འབྲེལ་འདྲིས་བྱས་ན་ཅི་ཞིག་མངོན་འགྱུར་ཐུབ་མིན་གྱི་དཔེར་མཚོན་ཡུལ་བྱུང་ཞིག་རེད། ང་ཚོ་ཨེ་མོ་རི་རོགས་ནས་ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདི་དང་། ༧གོང་ས་མཆོག་དང་བོད་ཀྱི་མཐོ་རིམ་སློབ་གཉེར་ཁང་དག་དང་མཉམ་འབྲེལ་གྱི་ལས་གཞི་ཁག་ལ་ཚོད་སེམས་བརྟན་པོར་གནས་ངེས་ཡིན།

སློབ་དེབ་འདི་དག་དངོས་སུ་བེད་སྤྱོད་བྱེད་མཁན་གྱི་དགོན་སྡེའི་སློབ་ཕྲུག་དག་ལ་ངས་གོ་སྐབས་འདི་བརྒྱུད་ཁྱེད་ཅག་གི་འབྱུང་འགྱུར་གྱི་སློབ་གཉེར་ལ་གྲུབ་འབྲས་གཡུང་ཏུ་ཟ་ཞིང་བྱ་བ་ལས་སྨོང་ཡོང་བའི་སྨོན་འདུན་ཞུ་བ་ཡིན།

ཇིམ་ཝེ་གྷེག་ནར།
གཙོ་འཛིན།

Emory University
Atlanta, Georgia 30322
An equal opportunity, affirmative action university

ACKNOWLEDGEMENTS

The Robert A. Paul Emory-Tibet Science Initiative (ETSI) grew out of the longstanding vision of His Holiness the Dalai Lama and is sustained by His Holiness's continued guidance and support at every step of the way. Not only has His Holiness provided annual operational funds, but he has also provided $1 million towards the ETSI endowment fund thereby ensuring the long-term sustainability of the program. The ETSI also owes its existence to the patronage of Dr. James W. Wagner, President of Emory University, who has allocated considerable funding on behalf of Emory University and from his personal discretionary fund.

The Emory-Tibet Partnership (ETP) was established in 1998 in the presence of His Holiness the Dalai Lama through the collaborative vision and work of Dr. Robert Paul and Geshe Lobsang Tenzin Negi. ETSI is the most ambitious project to grow out of the Emory-Tibet Partnership, and in 2010 ETSI was renamed the Robert A. Paul Emory-Tibet Science Initiative in honor of Dr. Paul's visionary leadership and guidance. We express our heartfelt thanks to both these individuals for helping to establish the many programs of the Emory-Tibet Partnership, including ETSI.

We gratefully acknowledge Geshe Lhakdor, Director of the Library of Tibetan Works and Archives, Dharamsala, India, whose leadership has been invaluable to the establishment and development of this initiative.

The project would also not have been possible without the support of Dr. Gary Hauk, Vice President and Deputy to the President at Emory University, who has guided ETP from the beginning and continues to be one of ETSI's strongest supporters. Additionally, ETSI is greatly indebted to Dr. Robin Forman, Dean of Emory College of Arts and Sciences, for providing critical resources and faculty from Emory College, which houses this initiative, to assist the ongoing development and implementation of the ETSI.

We thank also the ETSI science faculty, who have worked tirelessly to develop the science textbooks and who have traveled to India each summer to teach the science intensives, and the ETSI science translators who have given of their skills and time to contribute an entirely new scientific vocabulary to the Tibetan literary tradition and lexicon. In particular, Drs. Carol Worthman, Arri Eisen, John Malko, and Mark Risjord, team leaders for neuroscience, biology, physics, and philosophy of science respectively, oversee all of the curricular aspects of the ETSI and have been integral to any success experienced by the ETSI. Additionally, the principal ETSI translators, Tsondue Samphel and Geshe Dadul Namgyal oversee the entire translation of all ETSI materials, and with the assistance of ETSI staff members Michael Romano and Carol Beck, manage logistics for the production of the video lectures and textbooks. Without this dedicated team of exceptional faculty members and translators, the ETSI would not be where it is today.

Along with the hard-working staff of the Emory-Tibet Partnership, everyone has labored far beyond the call of duty, showing time and again that their efforts are not only work, but also an act of love.

ལེགས་གསོལ།

རོ་སྦྲར་ཏེ་ཨེ་པློལ་ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདི་ནི་༧སྐྱི་ཞོར་༧གོང་ས་སྐྱབས་མགོན་ཆེན་པོའི་ཐུགས་ཡུན་རིང་པོའི་འཆར་སྣང་ཕྱིར་མངོན་དུ་ཕྱུང་བ་ཞིག་ཡིན་ཞིང་། འདིའི་བརྒྱུད་རིམ་གྱི་གོམ་སྟབས་རེ་རེར་ཡང་ཁོང་གི་རྒྱུན་ཆད་མེད་པའི་ལམ་སྟོན་དང་རྒྱབ་སྐྱོར་གྱི་ཚན་ཁས་བརྒྱན་ཡོད། ༧གོང་ས་མཆོག་གིས་ལས་རིམ་འདིའི་ལོ་རེའི་འགྲོ་གྲོན་ཐད་རོགས་དངུལ་གསོལ་སྩལ་གནང་ཡོད་པར་མ་ཟད་ལས་རིམ་གྱི་ཐེབས་རྩར་དམིགས་ཏེ་ཨ་སྒོར་ས་ཡ་གཅིག་གསོལ་སྩལ་བཀའ་དྲིན་ཆེ་བས་ལས་གཞི་འདི་ཡུན་རིང་དོན་འཁྱོལ་ཡོང་བར་ངེས་གཏན་གནང་ཡོད། ལས་རིམ་འདིར་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་གཙོ་འཛིན་སློབ་དཔོན་རྗེམ་སེ་ཤེག་ནར་མཆོག་གིས་ཀྱང་གཟིགས་པ་ཆེན་པོས་རོགས་མགོན་གནང་ཡོད་པ་ནི། ཁོང་གིས་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་ངོ་ཚབ་ཀྱི་ངོས་ནས་དང་། ཡང་ཁོང་སྐུ་སྒེར་གྱི་ངོས་ནས་ཀྱང་རང་གི་ཐུགས་འདོད་ལྟར་སྤྱད་ཆོག་པའི་མ་དངུལ་གྱི་ཁོངས་ནས་ད་བར་རོགས་དངུལ་པོན་ཆེན་གནང་ཡོད།

དེ་ཡང་སློབ་དཔོན་རོ་སྦྲར་ཏེ་པློལ་དང་ཁུ་ཟུ་དགེ་བཤེས་བློ་བཟང་བསྟན་འཛིན་རྣམ་གཉིས་ནས་ལོ་མང་མཉམ་རུབ་ཀྱིས་འཆར་འགོད་དང་ཕྱག་ལས་གནང་བ་བརྒྱུད་ཕྱི་ལོ་ ༡༩༩༨ ལོར་༧གོང་ས་མཆོག་གི་མདུན་སར་ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཐུན་ཚོགས་ཞེས་པའི་ལེའུ་གསར་པ་ཞིག་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་དུ་འགོ་འཛུགས་གནང་ཞིང་། ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདི་ཉིད་ཐུན་ཚོགས་དེའི་ལས་འཆར་སྣ་མང་ཁྲོད་ནས་དམིགས་འདུན་ཆེ་ཤོས་ཀྱི་ལས་རིམ་ཞིག་ཡིན་ལ། ཕྱི་ལོ་ ༢༠༡༠ ལོར་སློབ་དཔོན་པློལ་གྱི་གཟིགས་རྒྱང་རིང་བའི་དབུ་ཁྲིད་དང་ཞལ་ཏ་གནང་བ་བཅས་ལ་ཆེ་མཐོང་འབུལ་ཆེད་ཚན་རིག་གི་ལས་རིམ་འདིར་རོ་སྦྲར་ཏེ་ཨེ་པློལ་ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་ཞེས་པའི་མིང་གསར་དུ་བཏགས། ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདི་ཐེ་བའི་ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཐུན་ཚོགས་ཀྱི་ལས་འཆར་མང་དག་ཅིག་གསར་འཛུགས་གནང་བར་ང་ཚོས་ཁོང་རྣམ་པ་གཉིས་ལ་སྙིང་ཐག་པ་ནས་ཐུགས་རྗེ་ཆེ་ཞུ་རྒྱུ་ཡིན།

ང་ཚོས་ཧ་ས་བོད་ཀྱི་དཔེ་མཛོད་ཁང་གི་དབུ་འཛིན་དགེ་བཤེས་ལྷག་རྗོར་མཆོག་ལ་འདང་བཀའ་དྲིན་བསམ་ཤེས་ཆེན་པོས་ཡི་རངས་ཞུ་རྒྱུ་ཡིན། ཁོང་གི་རིན་ཐང་བྲལ་བའི་དབུ་ཁྲིད་ལམ་སྟོན་ནི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདི་བཙུགས་པ་དང་འཕེལ་རྒྱས་གཏོང་བར་ཕན་ཐོགས་རླབས་ཆེ་བྱུང་ཡོད།

ཐོག་མར་འགོ་བཙུགས་པ་ནས་བཟུང་ཐུན་ཚོགས་དེར་ལམ་སྟོན་གནང་བར་མ་ཟད། ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདིར་ལྟ་མཐུད་དེ་རྒྱབ་སྐྱོར་ཕྱུགས་ཆེ་ཤོས་གནང་མཁན་གྲས་ཀྱི་གཅིག་ནི་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་གཙོ་འཛིན་གཞོན་པ་དང་གཙོ་འཛིན་ངོ་ཚབ་གཅིག་ཕྱོགས་སློབ་དཔོན་སྒེ་རི་ཧྥོག་ཡིན་ཞིང་། ཁོང་གི་རྒྱབ་སྐྱོར་རོགས་འདེགས་མེད་པར་ལས་འཆར་འདི་གྲུབ་མི་ཐུབ་པ་ལྟ་བུ་ཡིན། དེའི་ཐོག་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་ཚན་རིག་དང་སྒྱུ་རྩལ་མཐོ་སློབ་ཀྱི་འགན་འཛིན་སློབ་དཔོན་རོ་བྲིན་ཡོར་མན་གྱིས་ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདིའི་རྒྱུན་ཆགས་པའི་མདུན་སྐྱོད་ལག་ལེན་གྱི་རིམ་པ་བཅས་ལ་ཨེ་མོ་རི་མཐོ་སློབ་ཀྱི་ངོས་ནས་འགན་ཁུར་ཆེའི་ཆ་རྐྱེན་དང་སློབ་དཔོན་གྱི་མཐུན་རྐྱེན་སྦྱོར་བའི་སྒོ་ནས་ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདིར་དྲིན་གྱིས་སྐྱོང་བཞིན་ཡོད།

ཚན་རིག་གི་སློབ་དེབ་ཕྲེང་བའི་རྩོམ་སྒྲིག་བྱ་བར་ངལ་བ་ཕྲོས་མེད་ཀྱིས་འབད་རྩོལ་གནང་དང་གནང་མུས་ཐོག་ལོ་རེ་བཞིན་དབྱར་དུས་སུ་ཚན་རིག་སློབ་ཁྲིད་ཆེད་རྒྱ་གར་ལ་ཆེད་ཕེབས་གནང་བཞིན་པའི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་གྱི་སློབ་དཔོན་རྣམས་དང་། རྣམ་དཔྱོད་དང་དུས་ཀྱི་འགྲོ་གྲོན་བཏང་སྟེ་བོད་ཀྱི་ཚོམ་རིག་སྲོལ་ལུགས་དང་ཐ་སྙད་ཀྱི་ཚོགས་ལ་ཚན་རིག་གི་བརྡ་ཆད་གསར་པའི་ཞབས་འདེགས་ཞུ་བཞིན་པའི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་གྱི་ལོ་ཙཱ་རྣམས་ལ་འདང་ཐུགས་རྗེ་ཆེ་ཞུ་འདོད་མཆིས། ཁྱད་པར་དུ་རིམ་པ་བཞིན་དབང་རྩ་ཚན་རིག་དང་། སྐྱེ་དངོས་རིག་པ། དངོས་ཁམས་རིག་པ། ཚན་རིག་གི་ལྟ་གྲུབ་རིག་པ་བཅས་ཀྱི་སྡེ་ཚན་འགན་འཛིན་སློབ་དཔོན་ཁེ་རོལ་ཝོ་ཐི་མན་དང་། ཨ་རི་ཨ་ཡི་སོན། ཛོན་ནླལ་ཀོ། མཀྲ་རི་སི་ཛོ་ཊ་བཅས་ནས་ཚན་རིག་ལས་རིམ་གྱི་བསླབ་གཞི་དང་འབྲེལ་བའི་ལས་དོན་ཀུན་ལ་ཡོངས་ཁྱབ་གཟིགས་རྟོག་གནང་ཞིང་། ལས་རིམ་འདིར་གྲུབ་འབྲས་གང་སོན་མཐའ་དག་ལ་ཁོང་རྣམ་པའི་ཕྱག་རྗེས་ཀྱིས་ཁྱབ་ཡོད། དེའི་ཐོག་ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་གྱི་ལོ་ཙཱ་བ་གཙོ་བོ་བཙོན་འགྲུས་བསམ་འཕེལ་དང་དགེ་བཤེས་དགྲ་འདུལ་རྣམ་རྒྱལ་གཉིས་ནས་ཚན་རིག་ལས་རིམ་གྱི་ཕབ་སྒྱུར་བྱ་བ་ཀུན་དང་། གཞན་ཡང་ལས་རོགས་མ་ཡི་ཁལ་རོ་མ་ནོ་དང་ཁེ་རོལ་སྲེག་གཉིས་དང་ལྷན་དུ་སློབ་དེབ་དང་བརྙན་འཕྲིན་དཔར་སྐྲུན་འབྲེལ་བའི་ལས་གཞི་ཚང་མར་ཡོངས་ཁྱབ་ལྟ་སྐྱོང་གནང་བཞིན་ཡོད་པས། ལས་རིམ་འདིར་མཐའ་གཅིག་ཏུ་གཞོལ་ཞིང་རྣམ་དཔྱོད་ཁྱད་དུ་འཕགས་པའི་སློབ་དཔོན་དང་ལོ་ཙཱ་བའི་ཚ་ཁག་འདི་འདྲ་ཞིག་མེད་ན་ལས་རིམ་འདི་ད་ཆ་གང་དུ་སོན་པའི་གནས་བབ་འདིར་སླེབས་ཐབས་བྲལ།

ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཐུན་ཚོགས་ཀྱི་ལས་ལ་ཏ་ཅང་རེམ་པའི་ལས་བྱེད་རྣམས་ཐེ་བའི་གོང་གསལ་ལས་བྱེད་འདི་ཀུན་གྱིས་རྒྱུན་དུ་སོ་སོའི་ལས་བབ་ལས་བརྒལ་ཏེ་ཕྱག་ལས་གནང་བ་དང་། རང་གི་རྩོལ་བ་དེ་ཉིད་ལས་ཀའི་ངོ་བོ་ཙམ་དུ་མ་ལུས་པར་ལས་ལ་བློ་དཀར་བའི་ཐོག་དགའ་སྤྲོ་འཕེལ་བཞིན་དུ་སྒྲུབ་པ་བཅས་ལའང་ཡི་རངས་ཚད་མེད་ཞུ།

We thank all those who have contributed the financial support needed to operate ETSI and ensure its long-term sustainability. We are particularly indebted to Joni Winston for her long-term generous support to ETSI and for her unwavering conviction in the worth of this endeavor. Funding for ETSI has also come from Emory University and Emory College, including the Office of Global Strategy and Initiatives.

Generous support has also come from:

- The Dalai Lama Trust
- The Joni Winston Fund
- The John Templeton Foundation
- Judith McBean Foundation
- Lostand Foundation
- Jaynn Kushner
- Drepung Loseling Monastery, Inc., Atlanta, Georgia

We would also thank these individuals for their guidance and advice:

- Dr. Gary Hauk, Vice President and Deputy to the President, Emory University
- Geshe Thupten Jinpa, Principal English Language Translator for H.H. the Dalai Lama and President, Institute of Tibetan Classics
- Geshe Lhakdor, Director, Library of Tibetan Works and Archives
- Dr. Alan Wallace, President, Santa Barbara Institute
- Dr. Preetha Ram, former Associate Dean for Pre-Health and Science Education, Emory University
- Dr. Arthur Zajonc, former President, Mind and Life Institute
- Dr. Richard Davidson, Director, Center for Investigating Healthy Minds, University of Wisconsin, Madison
- Dr. Robert A. Paul, Charles Howard Candler Professor of Anthropology and Interdisciplinary, Emory University
- Geshe Lobsang Tenzin Negi, Director of Emory-Tibet Partnership, Emory University

We would like to thank the venerable abbots and the administration of the Tibetan monastic institutions for embracing the ETSI curriculum and incorporating this material into the Tibetan monastic core curriculum. Lastly, we thank the highly dedicated monastic students of the Emory-Tibet Science Initiative, who are not only beneficiaries, but also essential collaborators in the success of this program. May the knowledge that they gain through this program and these materials benefit them greatly, and through them, all of humankind.

ཚན་དེ་གི་ཀི་ལས་དེམ་ཁག་ལག་བསྟར་བྱེད་པར་དང་། ལས་འཚར་འདི་ཉིད་ཡུན་གནས་རྒྱུན་འཁྱོངས་ཡོང་བར་མེད་ཐབས་མེད་པའི་རོགས་དྲྭལ་གྱི་མཐུན་གྱུར་གནང་མཁན་ཡོངས་ལ་ང་ཚོས་བཀའ་དྲིན་ཆེ་བའི་ཞེགས་གསལ་ཁ་སོལ་ཞུ་རྒྱུ་ཡིན། དམིགས་སུ་བཀར་ནས་ལྷམ་ཇོ་ནི་ཕྱིན་སི་ཀོན་ཀྱིས་ཡུན་དིང་གཀོང་ཚོད་ཆེན་པོས་ཚན་དེ་ལས་དེམ་འདིར་རྒྱབ་སྐྱོང་གནང་བ་དང་། ལས་དོན་ཀྱི་དིན་ཐང་ཡོ་བ་མེད་པའི་ཡིད་ཆེས་བརྟན་པོ་གནང་བའི་བཀའ་ངྲིན་རྣམས་ང་ཚོས་རྟག་ཏུ་བན་བཞིན་ཡོད། ཤེ་ཚོ་དེ་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་དེ་ག་ལས་དེམ་འདིར་ཤེ་ཚོ་དེ་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁག་ལ་ཕྱིན་ཏེ་ཐུགས་ཁྲག་ཏུ་བན་བཞིན་ཡོད། ཤེ་ཚོ་དེ་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་དེ་ག་ལས་དེམ་འདིར་ཤེ་ཚོ་དེ་གཙུག་ལག་ཕུན་ཚོགས་ཀྱི་ཐབས་རྒྱུ་ཁག་ཏུ་ཡང་ལས་ཀ་ཡར་རྒྱས་ཐེབས་ཀྱི་ཡོད། གཞན་ཡང་ལས་དེམ་འདིར་གཀོང་ཚོད་ཆེ་བའི་རོགས་སྐྱོང་གང་ལས་བྱེད་ཚན་ཆུང་བའི་ཤེ་ཚོ་དེའི་མཐོ་སྐྲའི་ཚན་རིག་བྱས་པའི་འཚར་ཚོད་ཀྱི་ཐབས་རྣམས་ཀྱང་རོགས་དྲྭལ་ཐོབ་ཡོད། གཞན་ཡང་ལས་དེམ་འདིར་གཀོང་ཚོད་ཆེ་བའི་རོགས་སྐྱོང་གང་ལས་བྱེད་ཚན་ཆུང་བའི་ཤེ་ཚོ་དེའི་མཐོ་སྐྲའི་ཚན་རིག་བྱས་པའི་ཀ་ཅོག་ཁག་ཏུ་ཡང་ལས་ཀ་ཡར་རྒྱས་ཐེབས་ཀྱི་ཡོད།

- ཀུ་ལའི་བྲ་མའི་ཐེབས་ཆ།
- རོ་ཇི་ཕྱིན་སི་ཀོན་ཐེབས་ཆ།
- ཇོན་རེམ་པལ་ཀོན་དགེ་ཆ།
- ཏུ་ཀི་ཐི་མེག་ཁྲིན་དགེ་ཆ།
- ཚ་སི་ཀན་དགེ་ཆ།
- འཇེན་ཀུ་ཤི་ཅར།
- རོར་ཌི་ཡ་མངའ་སྡེའི་ཨེ་ཀི་ལན་ཀ་ཐོང་ཁྲེར་ཏུ་རྩེན་གཞི་བྱས་པའི་འབྲས་བུའམ་བྱས་ཚུལ་གསལ་བྱིང་གྱ་ཚང་གི་ཚོས་ཚོགས་ཅན་ཡིན།

ང་ཚོར་ལམ་སྟོན་དང་སློབ་གསོ་གཅང་མཁན་གཤམ་གསལ་ལའང་ཆེ་བོ་རྣམས་ལའང་ཐུགས་རྗེ་ཆེ་ཞུ་རྒྱུ་སྟེ།

- ཨེ་ཆོ་དེ་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་ཀོང་འཇེན་གཞིན་ཁ་དང་གཙོ་འཇེན་ངོ་ཚབ་གཅིག་ཐུགས་སློབ་དབོན་ཆེ་དེ་ཀྱོན།
- ལཱཌྷི་ཆོར་ཀོང་ཚ་ཀུབས་མགོན་གཤམ་ཆེན་བོ་མཆོག་གི་དབྱིན་སྐད་གསུང་རྒྱུས་གཙོ་འཇེན་ངོ་ཚབ་གཅིག་ཐུགས་སློབ་དབོན་ཆེ་དེ་ཀྱོན། བོད་ཀྱི་གཙུག་ལག་ཁྲིབ་དབྱིད་ཁང་གི་གཙོ་འཇེན་དགེ་བཤེས་བྱབ་བསྟན་སྦྱིན་པ།
- ཏ་ས་བོད་ཀྱི་དབེ་མཛོད་ཁང་གི་དབྱ་འཇེན་དགེ་བཤེས་ཡྃ་ཀེར།
- སན་ཏ་ཟྭར་ཟྭ་ངའི་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་གཙོ་འཇེན་སློབ་དབོན་ཨེ་ལན་ལྷ་ལེ་སི།
- ཨེ་ཆོ་དེ་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་འཕྲེད་བསྟེན་ཚོན་འཁོད་ཀྱི་ཨ་ཁག་འཇེན་ལས་རོགས་རྒྱབ་པ་ཀོག་ཏར་པིང་ཐ་སྙམ།
- སེམས་དང་སྒོག་གི་བསྟེ་གནས་ཁང་གི་གཙོ་འཇེན་རྒྱབ་པ་ཀོག་ཏོར་ཤར་ཐབ་ཡོང་།
- ཆེ་ཀི་ས་ཅན་ཏུ་ཡོད་པའི་ཤེ་སི་ཁོན་སིན་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་བདེ་ཐང་སེམས་ལ་ཞིབ་དབྱེད་བསྟེ་གནས་ཁང་གི་དབྱ་འཇེན་ཀོག་ཏར་དི་ཚན་ཀི། ཅ་ཤི་ཀི་ས་ཤན།
- ཆེ་ཚོ་ས་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་ཨི་དིགས་དིག་པ་དང་། བསློབ་གཞི་འཇེས་མའི་སློབ་གཉེར་ཚན་པའི་ཚར་ལེ་སི། ཏ་ཤ་ཀི། ཁེན་ཀི་ལར་སློབ་དབོན་ཆེན་ཚོ་ཀོག་ཏར་ཅོ་ཁྲར་ཏི། ཚེ། བྷཱལ།
- ཆེ་ཚོ་ཅོ་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་གི་ཚེ་ཚོ་དེ་དང་བོད་ཀྱི་ཐྱན་ཚོགས་ཀྱི་དབྱ་འཇེན་ཁྲ་ནུ་དགེ་བཤེས་བསྟན་འཇེན་བཅང་བསྟན་འཇེན་བཅས་ཡིན།

གཞན་ཡང་དགོན་སྡེ་ཁག་གི་མཁན་དིན་བོ་ཆེ་རྣམ་པ་དང་འཇེན་སྐྱོང་ལས་སྡེ་རྣམ་པས་ཤེ་ཚོ་དེ་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་དེ་ག་ལས་དེམ་ཀྱི་བསྐབ་གཞིའི་རྒྱུ་ཆ་དང་ལེན་ཀྱིས་དགོན་སྡེ་གྲྭ་ཚང་སོ་སོའི་རྒྱུན་ལྡན་བསྐབ་གཞིའི་ཐབས་སུ་འཇོག་གནང་མཐར་ཐུག་ཏུ་ཆོས་ལུགས་ཀྱི་ཡིད་ཆེས་བརྟན་པོ་ཐོབ་ཡོད། ཤ་ཚོ་དེ་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་དེ་ག་ལས་དེམ་ཀྱི་སྐྱེ་རྣམ་པས་ཤེ་ཚོ་དེ་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་དེ་ག་ལས་དེམ་ཀྱི་སྐབས་ལ་ང་ཚོས་ཐུགས་རྗེ་ཆེ་ཞུ་རྒྱུ་ཡིན། ཁོང་རྣམས་ནི་ལས་དེམ་འདིའི་ཐན་ཐོག་ཐ་ན་ཕྱི་ལོ་ཁ་ཤས་ཙམ་ཞིག་ཡོད། ལས་འཚར་འདི་ལམ་སྟོང་ཡོང་བར་ཁོང་རྣམས་ཤེར་ཏུ་ཤི་རྟེན་བའི་མཉམ་ལས་པའང་ཡིན། ལས་འཚར་འདི་དང་སློབ་ཚས་འདི་དག་ལས་ཤེས་ཡོན་གང་ཐོབ་པ་དེས་ཁོང་རྣམས་ལ་ཐུགས་ཚན་ཆེར་གསོ་ཞིང་། ཁོང་རྣམས་བརྒྱུད་རྟས་ཤིའི་དིགས་སྐྱི་ལ་སྣན་པའི་སྟོན་འཁྱོག་ཏུ་ཡང་ཞུ།།

SUPPORT AND INSPIRATION

This primer was written by Wendy Hasenkamp, Arri Eisen, Jennifer Mascaro, and Carol Worthman, based on curricular materials developed by a group of Emory faculty along with graduate students and post-doctoral fellows at Emory University and Georgia Institute of Technology. Carol Worthman led this group, which also included Gaelle Desbordes, Dieter Jaeger, Michael Iuvone, Michael Kuhar, Todd Preuss, Lena Ting, Leah Roesch, and Nicole Taylor. These thoughtful, generous scientists and educators are responsible for many of the ideas and much of the substance as they are elaborated in this primer. Concepts, evidence, and graphics also were drawn widely from the literatures of neuroscience, a global, diverse, multi-disciplinary field whose findings continually expand our understanding of brain, mind, experience, behavior, and the nature of sentience in living beings.

Geshe Dadul Namgyal translated this primer, and Tsondue Samphel led the translation of all Year 2 course materials. They, along with translators at the Library of Tibetan Works and Archives (LTWA), are creating a new science lexicon in Tibetan, a historic undertaking whose fruits are evident in this text. LTWA translators include Karma Thupten, Tenzin Paldon, and Nyima Gyaltsen. These skilled scholars (along with Tenzin Sonam and Sangey Tashi Gomar) also participated in the pilot teaching program that led to this primer. In the process, they have not simply translated our words, but have managed to convey complex systems of thinking and knowing from one culture to another. Such a dual act of translation–first of words and second of meaning is utterly essential to our project. Reciprocally, the authors and other participating scientists have been educated and humbled by the wealth of ideas and insights gleaned from the translators and the monastic students themselves, whose questions and drive for clarity and understanding motivate the approach and content of this primer.

The spiritual leaders and guiding lights of the Emory-Tibet Science Initiative are Geshe Lhakdor and Geshe Lobsang Negi. The seed and inspiration is His Holiness the 14th Dalai Lama of Tibet.

The Emory-Tibet Science Initiative Neuroscience Team
Emory University
2015

ཐོག་མའི་སྐུལ་སློང་དང་རྒྱབ་སྐྱོར།

དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྦྱོང་འགྲོའི་སློབ་དེབ་འདི་དངོས་སུ་འབྲི་རྩོམ་གནང་མཁན་ཨ་རི་ཨཡི་ཛོན་དང་། ཕེན་ཊི་ཏེ་སེན་ཀེམཔ། ཛེ་ནི་ཕར་མེ་སི་ཀ་རོ། ཁེ་རོལ་ཝོར་ཐ་མེན་བཅས་ཡིན། སློབ་དེབ་འདི་གང་ལ་གཞི་བཞག་ནས་བསྒྲིགས་པའི་བསླབ་གཞིའི་རྒྱུ་ཆ་བསྡུས་མཁན་ནི་ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་དང་ཇོར་ཇི་ཡ་འཕྲུལ་རྩལ་སློབ་གཉེར་ཁང་གཉིས་ཀྱི་སློབ་དཔོན་ཆེན་པོ་ཁག་ཅིག་དང་། སློབ་གཉེར་ཁང་དེ་དག་ནས་འབུམ་རམས་པ་ཐོན་པའི་ལས་སྦྱོང་བ་ཁག་ཅིག་དང་། བསྟན་བཅོས་ལོ་རིམ་ཐོན་པའི་སློབ་ཕྲུག་ཁག་ཅིག་བཅས་ལས་གྲུབ་པའི་ལྷན་ཚོགས་ཤིག་ཡིན། ལྷན་ཚོགས་དེའི་འགོ་ཁྲིད་ཁེ་རོལ་ཝོར་ཐ་མེན་ནས་གནང་བ་དང་། དེའི་ཚོགས་མིའི་ཁོངས་སུ་ཇུ་ཡེལ་ཊེ་སྦོར། ཊི་ཏར་ཡེ་གར། མཡི་ཁལ་ཨི་ཝོན། མཡི་ཁལ་ཀུ་ཧར། ཏོ་ཊ་ཕུ་ཏུ་སི། ལི་ན་ཏེ་ང་། ལིཡ་རོ་ཤ་དང་། ནི་ཀོལ་ཏེ་ལོར་བཅས་ཡོད། སློབ་དེབ་འདིར་ཞིབ་བཤད་བྱས་པའི་རིག་པ་དང་ནང་དོན་བརྗོད་བྱ་མང་པོ་ཞིག་གོང་གསལ་བློ་དཀྱིལ་ཆེ་ལ་གཏོང་ཕོད་ཅན་གྱི་ཚན་རིག་པ་དང་ཤེས་ཡོན་སློབ་སྟོན་པ་རྣམས་ཀྱིས་མགོ་འདོན་གནང་ལ། འདིའི་ནང་གི་ལྟ་ཚུལ་ཁག་དང་། དབང་རྟགས་ཀྱི་རིགས་དང་། དཔེ་རིས་བཅས་པ་རྣམས་ཀྱང་དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་རྒྱ་ཆེ་བའི་ཡིག་ཆ་ཁག་ནས་ཚུར་ནང་འདྲེན་ཞུས། དེ་ལ་དབང་རྩ་ཚན་རིག་ནི་རྒྱ་ཁྱབ་ཆེ་ལ། སྣ་མང་རང་བཞིན་ལྡན་པ་དང་། རིག་གནས་མང་པོ་འདུ་བའི་རིག་སྡེ་ཞིག་ཡིན་ལ། དེའི་ནང་གི་གསར་རྙེད་དག་གིས་འགྲོ་བ་སེམས་ཅན་གྱི་ཀླད་པ་དང་། སེམས། སྤྱོད་པ། གཤིས་སྤྱོད། སེམས་ལྡན་རང་བཞིན་བཅས་ཀྱི་སྐོར་དེང་ཚོའི་གོ་རྟོགས་སུ་མཐུད་དེ་རྒྱ་བསྐྱེད་གཏོང་བཞིན་ཡོད།

སློབ་དེབ་འདི་བོད་སྒྱུར་ཞུ་མཁན་དགེ་བཤེས་དགྲ་འདུལ་རྣམ་རྒྱལ་ཡིན། དེ་བཞིན་དུ་བརྩོན་འགྲུས་བསམ་འཕེལ་གྱིས་ལོ་རིམ་གཉིས་པའི་སློབ་ཚན་ཡོངས་རྫོགས་ཀྱི་ཡིག་སྒྱུར་བྱ་བའི་འགོ་ཁྲིད་ཀྱི་འགན་འཁུར་ཞུས། ཁོང་གཉིས་དང་རྡ་ས་བོད་ཀྱི་དཔེ་མཛོད་ཁང་གི་སྒྲ་སྒྱུར་བ་རྣམས་ཀྱིས་བོད་སྐད་ཐོག་དེང་རབས་ཚན་རིག་གི་བརྡ་ཆད་ཚིག་མཛོད་གསར་པ་བཟོ་སྒྲིག་བྱེད་བཞིན་ཡོད་ལ། དེ་ནི་ལོ་རྒྱུས་རང་བཞིན་གྱི་ལས་གཞི་ཞིག་ཡིན་པ་དང་། དེའི་མཇུག་འབྲས་རྣམས་ད་ལྟ་ཉིད་ནས་སློབ་དེབ་འདིའི་ལྡེབ་ངོས་སུ་མངོན་གསལ་དུ་གྲུབ་ཡོད། དཔེ་མཛོད་ཁང་གི་སྒྲ་སྒྱུར་བའི་ཁོངས་སུ་ཀརྨ་ཐུབ་བསྟན། བསྟན་འཛིན་དཔལ་སྒྲོན། ཉི་མ་རྒྱལ་མཚན་བཅས་ཡོད། བྱང་ཆ་ཅན་གྱི་སྒྲ་སྒྱུར་བ་ཁོང་རྣམས་(དང་། དེའི་སྟེང་དུ་བསྟན་འཛིན་བསོད་ནམས་དང་། སངས་རྒྱས་བཀྲིས་སྒྲོ་དམར་བཅས་)ཀྱིས་སློབ་དེབ་འདིའི་སྦྱོང་འགྲོའི་སློབ་ཁྲིད་ལས་གྲྭར་མཉམ་ཞུགས་བྱས་ཤིང་། སྐབས་དེ་དག་ཏུ་ཁོང་རྣམས་ཀྱིས་སྒྲ་ཐབ་བསྒྱུར་ཙམ་བྱས་པ་ལྟ་བུ་མིན་པར། བསམ་བློ་དང་ཤེས་སྦྱོང་ལ་བརྟེན་པའི་མ་ལག་རྟོག་འཛིང་ཅན་རྣམས་རིག་གཞུང་གཅིག་ནས་གཞན་དུ་ཕབ་ལེན་འཐུས་ཚང་བྱས་ཐུབ་ཡོད། དེ་ལྟའི་རིམ་པ་ཉིས་ལྡན་གྱི་བྱ་གཞག་སྟེ། དང་ཐོག་མིང་ཚིག་གི་འགྱུར་དང་། དེ་ནས་གོ་དོན་གྱི་འགྱུར་བཅས་གཉིས་ཀ་ཚང་བ་དེ་ནི་དེང་ཚོའི་ལས་རིམ་འདིར་གཅིག་ཏུ་མེད་ཐབས་མེད་པ་ཞིག་ཡིན། སྐབས་དེ་དག་ཏུ་སྒྲ་སྒྱུར་བ་ཁོང་རྣམས་དང་གྲྭ་བཙུན་གྱི་སློབ་མ་རྣམས་ཀྱིས་བརྟོན་པའི་རིག་པ་དང་རྣམ་དཔྱོད་ཀྱི་བང་མཛོད་དག་ལ་བརྟེན་ནས་དེང་འབྲི་རྩོམ་པ་རྣམས་དང་ལས་རིམ་འདིར་མཉམ་ཞུགས་གནང་བའི་ཚན་རིག་པ་གཞན་རྣམས་ལ་འང་ལན་སྐྱེས་ཀྱི་ཚུལ་དུ་ཐོབ་དང་འཐོབ་ཐུས་ནི་དེང་རྣམས་ཀྱི་ཁེངས་སེམས་ཆག་པ་དང་བློ་གྲོས་རྒྱས་པ་དེ་ཡིན། ཁོང་རྣམས་ཀྱིས་བཏོན་པའི་དོགས་དྲི་ཁག་དང་། གཞན་ཡང་གསལ་ཆ་དང་གོ་རྟོགས་ལ་གཅིག་ཏུ་ཡིད་སྨོན་འཚོར་བའི་བྱ་སྤྱོད་དག་གིས་སློབ་དེབ་འདིའི་སྒྲིག་ཚུལ་དང་ནང་དོན་བརྗོད་བྱ་འདེམས་སྟངས་བཅས་ལའང་སྐུལ་སློང་ངེས་ཅན་ཞིག་ཐེབས་ཡོད།

ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་འདིའི་ཐོག་མའི་ས་བོན་དང་བར་དུ་སྐུལ་ཤུགས་ཀྱི་རྩ་བ་ཉག་གཅིག་པུ་དེ་ནི་བོད་གངས་ཅན་ལྗོངས་ཀྱི་༧གོང་ས་ཏཱ་ལའི་བླ་མ་སྐུ་ཕྲེང་བཅུ་བཞི་པ་ཆེན་པོ་མཆོག་ཡིན་ལ། ལས་འཆར་འདིའི་ཉིན་རྒྱུན་གྱི་ཆོས་ཕྱོགས་ཀྱི་ལམ་སྟོན་པ་དང་ལམ་བུ་གསལ་བའི་སྒྲོན་མེ་ལྟ་བུ་ནི་དགེ་བཤེས་ལྷག་རྡོར་ལགས་དང་དགེ་བཤེས་བློ་བཟང་བསྟན་འཛིན་ལགས་རྣམ་གཉིས་ཡིན།

ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་གྱི་དབང་རྩ་ཚན་རིག་སྡེ་ཚན་ནས།
ཨེ་མོ་རི་གཙུག་ལག་སློབ་གཉེར་ཁང་། ཕྱི་ལོ་ ༢༠༡༥ ལ།

Neuroscience Primer II

Neurons & Neuronal Activities

ངབང་རྩའི་ཚན་རིག་གི་ཐོན་འཕྲིའི་སྒོབ་དེབ་གཉིས་པ།

ངབང་རྩ་ཐ་གཟུགས་དང་དེ་དག་གི་བྱ་གཤག

Neurons & Neuronal Activities

Basic Processes of Transmission, Integration, and Response

INTRODUCTION

Imagine you are walking through the woods on a beautiful day—the cloudless sky is a clear sharp blue. Suddenly, you trip on a tree root and nearly fall, but you catch yourself at the last minute and keep walking with only a slightly sore toe to remind you of the incident. As you walk, you listen to the wind in the trees and enjoy the quiet.

But then, you hear something; it sounds like a child crying, and as you turn the corner on the path, there is indeed a young boy sitting by the path, and he is sobbing. The boy looks to be about four years old and so upset he is unable to respond to your questions: is he lost? What is his name? Your heart goes out to him, and carefully you pick him up and carry him to the nearest village, hoping to find his parents.

Here is a very human moment, something any of us might experience. As we live our daily lives, most of us don't give much thought to how our brains and bodies allow us to perform such basic actions. In the scene above, all sorts of processes are happening under the surface – walking, coordination and balance, hearing and seeing, emotional and behavioral responses, not to mention breathing, digesting, or circulating blood. All of these processes depend on our nervous system's interaction with multiple other systems we've learned about.

You already know that our nervous systems control things like movement and sensory processes. But how does this work, on a cellular level? In our first primer, we have mentioned that neuroscientists measure 'brain activity,' and that neurons 'are activated.' Decades of research have focused on determining how neurons become activated. We've referred to this in varying detail throughout the Life Sciences and Neuroscience primers you have read previously; however, here you now have enough knowledge and background to explore neuronal activity in some detail.

As we have seen in previous primers, it is a central tenet of biology that anything a human (or any other organism) does must have a biological substrate. This is because we are limited by our cells and molecules, organs and organ systems, their capacities and their emergent properties. This principle holds true for phenomena as relatively simple as digesting food

དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དང་དེ་དག་གི་བྱ་གཞག

འཕྲིན་གཏོང་། མཉམ་སྦྱིག ཡ་ལན་བྱ་བ་བཅས་དང་འབྲེལ་བའི་རྣམ་གཞིའི་བྱེད་རིམ་ཁག

མཚམས་སྦྱོར།

> སྤྲོ་སྣང་ལྡན་པའི་ཉིན་ཞིག་ཁྱོད་ཉིད་སྤྲིན་བྲལ་ནམ་མཁའ་སྔོ་སངས་ཤིག་གི་འོག་ནགས་ཀླུང་སྟུག་པོའི་ཁྲོད་དུ་སྤྲོ་འཆམ་ལ་སྐྱོད་བཞིན་པར་སེམས་ལ། གློ་བུར་དུ་ཁྱོད་ཀྱི་རྐང་པ་རྩེ་ཤིང་གི་རྩ་བར་འཁྲིལ་བས་ཁྱོད་ཉིད་འགྱེལ་གྲབས་བྱས། དེ་ལྟ་ནའང་སྟབས་ལེགས་པ་ཞིག་ལ་དེ་མ་ཉིད་དུ་ཁྱོད་ཀྱིས་རང་སྲུང་བྱས་པས་རྐང་རྩེར་ཁོན་ཐོགས་ཐྲན་བུ་ཙམ་ཞིག་སྟེ། སྐབས་དེའི་བྱུང་བར་དྲན་གསོ་གཏོང་ཐུབ་ཙམ་གྱི་སྐྱོན་ཞིག་ལས་མ་ཐོག་པས་སྲུ་མ་ཐུབ་དེ་གོམ་བགྲོད་ལ་བཞུད་ཀྱིན་དུ་གནས། ཁྱོད་ཉིད་གོམ་པ་སྤོ་བཞིན་དུ་རྩེ་ཤིང་གསེབ་ཀྱི་རླུང་སྒྲར་ཉན་གྱིན་ཞི་འཇམ་གྱི་གནས་བབ་ཉམས་སུ་མྱོངས།
>
> འོན་ཀྱང་སྐབས་དེར་ཁྱོད་ཀྱིས་སྒྲ་ཞིག་ཐོས་ལ། དེ་ཡང་བྲིས་པ་ཞིག་དུ་བཞིན་པའི་སྐད་སྒྲ་འདྲ་བར་ཤེས། ཁྱོད་ཉིད་ལམ་ཀྱོག་དེའི་ཁུགས་སུ་ཁ་བསྐོར་བ་ན་དངོས་འབྲེལ་རང་ལམ་ཟུར་དེར་བྲིས་པ་ཆུང་དུ་ཞིག་དུད་མོ་བྱེད་ཀྱིན་པར་རྟེན། བྲིས་པ་དེ་ལོ་བཞི་སྐོར་ལ་སོན་ཞིང་། སེམས་སྡུག་གིས་ནོན་ཆེ་བས། ལམ་ཁ་སྟོར་སོང་ངམ། ཁྱོད་ཀྱི་མིང་ལ་གང་ཟེར་རམ། ལྟ་བུའི་ཁྱོད་ཀྱི་དྲི་བར་ལན་འདེབས་གང་ཡང་མ་བྱས། ཁྱོད་ཀྱི་སེམས་རྒྱུད་བྱམས་བརྩེས་བརླན་པས། ག་ལེར་བྲིས་པ་དེ་པང་དུ་བླངས་ཤིང་། ཁོའི་ཕ་མ་རྙེད་དུ་རེ་བས་ཉེ་འཁྲམ་གྱི་གྲོང་གསེབ་ཏུ་ཁྲིད།

གོང་གསལ་ནི་ང་ཚོ་སུ་ཞིག་ལའང་འཕྲད་སྲིད་པའི་ཚོར་ཤུགས་ལྡན་པའི་གནས་སྟངས་ཤིག་གི་དཔེ་མཚོན་ཡིན། ང་ཚོས་ཉིན་རེའི་འཚོ་བར་རོལ་བ་ན་གོང་གསལ་འདྲ་བའི་གཞི་རྩའི་བྱ་གཞག་རྣམས་བསྒྲུབ་པར་ང་ཚོའི་ཀླད་པ་དང་ལུས་ཕུང་གིས་ཇི་ལྟར་རམ་འདེབས་བྱེད་པའི་ཚུལ་ལ་ང་ཚོ་ཕལ་མོ་ཆེས་དེ་ཙམ་དོ་སྣང་སྤྲོད་ཀྱི་མེད། དེ་ཡང་གོང་གསལ་གྱི་བྱུང་བ་ལྟ་བུར་མཚོན་ན། ལུས་ཀྱི་ཁྱད་ངོས་ཀྱི་འོག་ཉིད་དུ་བྱེད་རིམ་སྣ་ཚོགས་ཤིག་འགྲུབ་བཞིན་པ་སྟེ། གོམ་པ་སྤོ་བ། འཆམ་སྒྲིག་དང་དོ་མཉམ་གྱི་བྱ་བ་འགྲུབ་པ། སྒྲ་ཐོས་ཤིང་གཟུགས་མཐོང་བ། སེམས་སྐྱོང་དང་ལུས་འགྱུར་གྱི་ཡ་ལན་རྣམ་པ་ཕྱིར་འབུ་བ་བཅས་ཡིན་ལ། དེར་མ་ཟད་དབུགས་འབྱིན་རྔུབ་དང་། ཟས་ཀྱི་འཇུ་སྦྱུད་བྱ་བ། ཁྲག་རྒྱུན་འཁོར་སྐྱོད་བཅས་འགྲུབ་བཞིན་པ་ནི་སྨོས་ཅི་ལ་དགོས། བྱེད་རིམ་གྱི་རྣམ་གྲངས་འདི་ཀུན་ང་ཚོས་ཐུར་སྦྲངས་ཟིན་པའི་ལུས་ཕུང་གི་མ་ལག་རྣམ་གྲངས་མང་པོ་དག་དང་དབང་རྩའི་མ་ལག་དབར་གྱི་སྦྲེལ་སྦྱོར་ལ་བརྟེན་ཡོད་པ་རེད།

ཁྱོད་ཀྱིས་ཤེས་གསལ་ལྟར། འགྱུལ་སྐྱོད་དང་དབང་ཚོར་འབྲེལ་བའི་བྱེད་རིམ་དུ་མ་ཞིག་ལ་ང་ཚོའི་དབང་རྩ་མ་ལག་གིས་སྟངས་འཛིན་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། འོན་ཀྱང་བྱེད་རིམ་འདི་དག་ཐྲ་ཕུང་རིམ་པར་ཚུལ་ཇི་ལྟར་འགྲུབ་བམ་ཞེ་ན། ང་ཚོའི་སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོར་གླེང་བ་བཞིན། དབང་རྩ་ཚན་རིག་པ་རྣམས་ཀྱིས་ཀླད་པའི་བྱ་གཞག་དག་ལ་ཚད་འཇལ་གྱི་ཡོད་ལ། དེ་བཞིན་དུ་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་རྣམས་ལ་རྐྱེན་གཞན་གྱི་དབང་གིས་སད་སློང་ཐེབས་ཀྱི་ཡོད། དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་རྣམས་ཇི་ལྟར་སད་ཚུལ་སྐོར་རྒྱུས་ལོན་འབྱུང་ཆེད་ཚན་རིག་པ་རྣམས་ཀྱིས་ད་ཐབ་ལོ་ངོ་བཅུ་ཕྲག་དུ་མའི་རིང་དམིགས་བཙུགས་ཏེ་ཞིབ་འཇུག་གི་བྱ་བ་བསྒྲུབས་ལ། འདི་དག་གི་སྐོར་ད་ཐབ་བསླུགས་ཟིན་པའི་ཆེ་སྒྲིག་ཚན་རིག་དང་དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དག་ཏུ་རྒྱས་བསྡུས་ཅི་རིགས་པར་ང་ཚོས་སྔ་སྟོན་འགྲེལ་བཤད་བྱས་ཟིན། ད་དུང་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དང་འབྲེལ་བའི་བྱ་གཞག་སྐོར་ཙུང་ཟད་ཞིབ་རྒྱས་སུ་རྟོག་དཔྱོད་བྱ་རྒྱུར་མགོ་བའི་རྒྱབ་ལྗོངས་དང་སྟོན་འགྲོའི་ཤེས་རྟོགས་ཀྱི་རྒྱུ་ཆ་རྣམས་ཁྱོད་ཚོས་སློབ་དེབ་འདིའི་ནང་འོག་ཏུ་མཐོང་རྒྱུ་རེད།

སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་སྔ་མ་རྣམས་སུ་ང་ཚོས་མཐོང་བ་བཞིན། མིའི་འགྲོ་བ་ཞིག་(ཀམ། ཡང་ན། སྐྱེ་ལྡན་གཞན་ག་འདྲ་ཞིག་ཡིན་ཡང་། དེ་དག་)གིས་བྱ་བ་ཅི་འདྲ་ཞིག་འགྲུབ་རུང་། དེར་ལུས་འགྱུར་གྱི་གཞི་རྟེན་ཞིག་ངེས་པར་དགོས་པ་ནི་སྐྱེ་དངོས་རིག་པའི་རྩ་བའི་གྲུབ་མཐའ་ཞིག་རེད། དེ་ལྟར་ཡིན་པ་ནི། ང་ཚོ་སྐྱེ་ལྡན་རྣམས་ནི་རང་གི་ཐྲ་ཕུང་དང་འདུས་རྡུལ་དག་དང་། ལུས་ཀྱི་དབང་པོ་དང་དབང་པོ་མ་ལག་དག་དང་། དེ་དག་གི་བྱེད་ནུས་དང་བྱེད་ནུས་དེ་དག་ལས་འཐོན་པའི་ཡོན་ཏན་རྣམས་ཀྱིས་མཚམས་ཟིན་རྒྱས་བཅད་བྱས་ཡོད་པས་ཡིན། རྩ་འཛིན་འདི་གཟན་ཆས་འདྲ་སྤྱད་དམ། ཡང་

or circulating blood, but also for more complex phenomena like vision and social behaviors. In this primer, we will use the scenario described above as a way of gaining a deeper understanding of how the nervous system works. Along the way, we will continue to synthesize the knowledge and concepts we have learned in past primers.

BACKGROUND

To help us more easily integrate the ideas in this primer, let's examine some of the background information that is presented in other primers in this series. If you haven't covered these other primers yet, it may be useful to review these sections before diving into *Neurosciences II*.

Life Sciences Primer (LSP)-I: Evolution sets the stage for all else we learn in the biological sciences by outlining Charles Darwin's great and transformative idea of evolution. We learn how, through a few basic laws of selection operating from the interactions between biology and the environment, all of life evolved and continues to do so. We learn how mechanisms for transmitting biological information between generations, particularly DNA (and the RNA and proteins it encodes), form the universal substrate for evolution, and how random changes in the DNA code that result in biologic advantage in a particular environment are selected and passed on. We also learn how different environments affect when, if and to what extent genes are expressed. Over millions of years, this process of evolution has resulted in all of the diversity and abundance of life forms that exist or ever have existed on earth.

In *LSP-II: Genes and Cells,* using the example of what happens when we touch a cup of very hot chai, it becomes clear that a few chemicals, most notably carbon, nitrogen, hydrogen and oxygen, are the basic constituents of all life molecules: proteins and nucleic acids (RNA and DNA), as well as carbohydrates and fats. We learn how the dynamic principle of structure/function—that structure predicts function and vice versa—applies at all levels of life, from molecules to cells and tissues, on to organs, organ systems, and organisms. We examine the basic chemistry of life and how it is deeply related to change, structure and function.

In *LSP-II: Genes and Cells* and *Neurosciences I* we also learn that the core molecules of life combine to form cells and their parts and allow different cells to interact. We learn that the same basic elements build a vast diversity of

ན། ཁྲག་རྒྱུན་འཁོར་སྐྱོད་ལྟ་བུ་ལྟོས་འཇོག་གིས་སྟབས་བདེའི་གནས་དོན་དག་ལ་འཐད་པར་མ་ཟད། དེ་བས་ཙུང་རྟོག་འཛིང་ཆེ་བའི་གནས་དོན་དཔེར་ན་མཐོང་ཚོར་དང་ཚོགས་སྤྱོད་གོམས་གཤིས་དག་ལའང་འཐད་པ་ཡིན། སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་འདི་རང་ཆོས་གོང་གི་མཚམས་སྦྱོར་བཤད་པ་དེ་བེད་སྤྱད་དེ་དབང་རྩ་མ་ལག་གི་ལས་ཚུལ་ཐད་སྤྱང་བས་གཏིང་ཟབ་པར་རྒྱས་ལོན་འཐོབ་པར་འབད་བརྩོན་བྱ་ལ། དེ་ལྟར་བྱེད་བཞིན་དུ་ང་ཚོས་སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་སྔ་མ་རྣམས་སུ་སྦྲུངས་ཟིན་པའི་ཤེས་བྱ་དང་རིག་པ་རྣམས་ལའང་མུ་མཐུད་དུ་མཉམ་སྦྱེལ་བྱས་ཏེ་རྒྱ་བསྐྱེད་བྱའོ།།

རྒྱབ་ལྗོངས།

སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་འདིའི་ནང་གི་རིག་པ་རྣམས་འཇུག་པ་བདེ་མོའི་ངང་མཉམ་སྦྱེལ་བྱ་རྒྱུར་རམ་འདེགས་འཐོབ་ཆེད། དེབ་ཕྲེང་འདིའི་སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཞན་དག་ཏུ་བཤད་པའི་རྒྱབ་ལྗོངས་ཀྱི་ཆ་འཕྲིན་ཁག་ཅིག་ལ་ང་ཚོས་བསྐྱར་ཞིབ་བྱ་ལ། གལ་ཏེ་ཁྱོད་ཀྱིས་སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དེ་དག་ལ་ད་ཕན་ལྟ་སྦྱོང་བྱས་མེད་ཚེ། དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པ་འདིར་མ་ཞུགས་གོང་དུ་ལེ་ཚན་འདི་དག་ལ་བསྐྱར་སྦྱོང་བྱེད་པས་ཁྱོད་ལ་ཕན་ཐོགས་འབྱུང་སྲིད།

'འཕེལ་འགྱུར་'མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོས། ཆར་ལེ་སི་ཌར་ཝིན་གྱི་རླབས་ཆེ་ལ་སྒྱུར་ཁ་གཏོད་པའི་འཕེལ་འགྱུར་རིག་པའི་སྤྱི་ཆིངས་ལ་འགྲེལ་བཤད་བྱེད་ཅིང་། དེའི་སྒོ་ནས་སྐྱེ་དངོས་ཚན་རིག་ནང་གླེང་རྒྱུའི་ལེ་ཚན་ཡོངས་རྫོགས་ཀྱི་སྐབས་ཕྱེད་ཡོད། དེར་མ་ཟད། སྐྱེ་དངོས་དང་ཁོར་ཡུག་དབར་འགྲུབ་པའི་སྤྲེལ་སྦྱོར་ལ་བརྟེན་ནས་ལས་སུ་འཇུག་པའི་འདེམས་སྒྲུག་བྱ་བའི་རྨང་གཞིའི་གཏན་ཁྲིམས་ཉུང་ཤས་དག་གི་ཐབས་འཕྲུལ་བརྒྱུད་ཚེ་སྲོག་གི་རྣམ་པ་ཡོད་ཚད་ཇི་ལྟར་འཕེལ་འགྱུར་བྱུང་བ་དང་། ད་དུང་ཡང་མུ་མཐུད་དེ་ཇི་ལྟར་འཕེལ་འགྱུར་འགྲོ་བཞིན་པའི་སྐོར་ཡང་ང་ཚོས་སློབ་དེབ་དེར་སྦྲུངས་ ཡོད། གཞན་ཡང་། རྒྱུད་རབས་ཕན་ཚུན་དབར་སྐྱེ་དངོས་ཆ་འཕྲིན་བརྒྱུད་སྤྲོད་བྱེད་པའི་ཐབས་ཚུལ་སྤྱི་དང་། ཌི་ཨེན་ཨེ(དང་ཨར་ཨེན་ཨེ། ཡང་དེས་བཟོ་སྒྲིག་བྱས་པའི་སྤྲི་རྫས་བཅས)ཀྱིས་འཕེལ་འགྱུར་རྒྱུད་རིམ་གྱི་ཡོངས་ཁྱབ་གཞི་རྫས་རྣམས་ཇི་ལྟར་གྲུབ་ལུགས་ཀྱང་ང་ཚོས་སློབ་དེབ་དེར་སྦྲུངས་ཡོད། དེ་བཞིན་དུ། ཌི་ཨེན་ཨེ་ཡི་གསང་ཚིག་ལ་ཙོག་པའི་ཐོལ་བྱུང་གི་འགྱུར་ལྡོག་དག་ལ་བརྟེན་ནས་དགེ་མཚན་ལྡན་པའི་ལུས་ཕུང་གི་གནས་སྟངས་བསྐྱེད་པ་རྣམས་ཁོར་ཡུག་དམིགས་བཀར་བ་ཞིག་ཏུ་འདེམས་སྒྲུག་ཐེབས་ནས་རྒྱུད་རབས་རྗེས་མ་རྣམས་སུ་བརྒྱུད་སྤྲོད་འབྱུང་ཚུལ་བཅས་ཀྱང་ང་ཚོས་སློབ་དེབ་དེར་སྦྲུངས་ཡོད། ང་ཚོས་རིགས་རྫས་སོ་སོའི་མངོན་རྣམ་དོད་པའི་ཕྱོགས་སུ་ཁོར་ཡུག་གི་གནས་སྟངས་མི་འདྲ་བས་ནམ་ཞིག་ལ་ཤུགས་རྐྱེན་བཟོ་བ་དང་། ཅི་སྟེ་བཟོས་ན་ཚད་ཇི་ཙམ་དུ་བཟོ་བ་བཅས་ཀྱི་སྐོར་ཡང་སྦྲུངས་ཡོད། དེ་ཡང་སའི་གོ་ལ་འདིར་ད་ལྟ་འཚོ་བཞིན་པའམ། ཡང་ན་དེ་སྔ་འཚོས་པའི་རྣམ་གྲངས་མང་ལ་འཕོན་ཆེ་བའི་ཚེ་སྲོག་གི་རྣམ་པ་འདི་ཀུན་ལོ་ངོ་ས་ཡ་དུ་མའི་རྒྱུན་ཐག་ཁྲིད་འཕེལ་འགྱུར་རྒྱུད་རིམ་འདི་ནས་ཕྱིར་ཐོན་པ་ཞིག་ཡིན།

'རིགས་རྫས་དང་ཁྲ་ཕུང་'མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པའི་ནང་། ཛ་ཚ་བོ་རླུགས་པའི་ཕོར་པར་རིག་ཐུག་བྱེད་པ་ན་ཅི་ཞིག་འབྱུང་མིན་གྱི་དཔེ་མཚོན་བེད་སྤྱད་པའི་སྒོ་ནས། རྫས་རིགས་ཁག་ཅིག་སྟེ། གཙོ་ཆེར་ཁར་སྦོན་དང་། ནཡེ་ཊོ་ཇེན་དང་། ཡང་རླུང་དང་། སྲོག་འཛིན་རླུང་བཅས་པ་དེ་རྣམས་ནི། སྤྲི་རྫས་དང་། (ཨར་ཨེན་ཨེ་དང་ཌི་ཨེན་ཨེས་མཚོན་པའི་)ཉིང་སྐྱུར་གྱི་རིགས་དང་། དེ་བཞིན་དུ་ཁར་སྦོ་མངར་བཙུད་ཀྱི་རིགས། ཚིལ་ཞག་གི་རིགས་ཚུད་པའི་ཚེ་སྲོག་གི་འདུས་རྡུལ་ཀུན་གྱི་གཞི་རིམ་གྱི་གྲུབ་ཆ་ཡིན་ཚུལ་ང་ཚོར་གསལ་པོ་ཆགས་ཡོད། དེ་བཞིན་དུ། བཀོད་དབྱིབས་དང་བྱེད་ལས་གཉིས་སྦྲེལ་ནས་འཁོད་ཚུལ་སྟོན་པའི་གསོན་ཉམས་ལྡན་པའི་རྩ་འཛིན་སྟེ། བཀོད་དབྱིབས་ཀྱིས་བྱེད་ལས་ལ་སྟངས་འཛིན་བྱེད་པ་དང་། ཚུར་ཡང་དེ་ལྟར་བྱེད་ཚུལ་བསྟན་པའི་རྩ་འཛིན་དེས་ཚེ་སྲོག་གི་བང་རིམ་ཀུན་ཏེ། འདུས་རྡུལ་ནས་བརྩིས་ཏེ་ཁྲ་ཕུང་དང་ཕུང་གྲུབ། དེ་ནས་ཡར་དབང་པོ་དང་། དབང་པོའི་མ་ལག་དང་། སྐྱེ་དངོས་ཆང་པོ་ཞིག་གི་བར་ཏེ་རིམ་པ་དེ་ཀུན་ལ་ཁྱབ་ཚུལ་ཡང་ང་ཚོས་སྦྲུངས་ཡོད། ང་ཚོས་ཚེ་སྲོག་གི་གཞི་རིམ་གྱི་རྫས་འགྱུར་གནས་བབ་ལ་དཔྱད་ཞིབ་བྱས་རྗེས་དེ་ཉིད་འགྱུར་བ་དང་། བཀོད་དབྱིབས། བྱེད་ལས་བཅས་ལ་འབྲེལ་བ་དམ་པོ་ཡོད་ཚུལ་བཅས་ལའང་ཞིབ་དཔྱད་བྱས་ཡོད།

'རིགས་རྫས་དང་ཁྲ་ཕུང་'མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པ་དང་། དབང་རྩའི་ཚན་རིག་གི་སྨོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོ་བཅས་ཀྱི་ནང་། ཚེ་སྲོག་གི་འདུས་རྡུལ་སྙིང་པོ་རྣམས་ཚུར་འདུས་པ་ལས་ཁྲ་ཕུང་

molecules and many different kinds of cells, such as the neurons and muscle cells critical for our response to touching the hot cup of chai. We discuss the evolution of senses across the family tree and, in *Neurosciences I*, we follow the complex sense of vision, its evolution as well as its mechanisms—tracing the path of information from the light that bounces off objects through our eyes and into our brain.

In *Neurosciences I* and *LSP-III: Development and Physiology,* we expand from molecules and cells to organs and organ systems, the next step up the biological staircase of life. Remembering the consistent underlying principle of structure and function as we move up the staircase, we learn constituents of and interactions among the many organ systems that make up our bodies—the nervous system as well as our reproductive, digestive, skeletal, muscle, immune, cardiovascular, respiratory, endocrine, integumentary, and urinary systems.

Finally, in *LSP-III: Development and Physiology,* we discuss development, again from an evolutionary prospective, starting with the relatively simple slime mold and then showing how its basic cellular and molecular strategies—chemotactic signaling based on chemical gradients and resulting in cellular movement—are the same as those used in development in all organisms. We learn how an organism starts with one cell and one set of DNA and then divides over and over, each cell having the same DNA. Nonetheless, during development each cell gradually takes on a different personality. All of this eventually results in the development of new organs, organ systems, and organisms, some of which (like humans) have trillions of cells!

WHAT EXACTLY IS NEURONAL ACTIVITY?

So how do neurons really work? Thorough comprehension of neural activity requires synthesizing many of the biology facts and concepts we've learned previously. Let's think about the underlying biology—from organisms to molecules—of the scenario described above.

Two **organisms** of the same species interacted. Doing so involved many of your physiological systems (discussed in *LSP-III: Development and Physiology),* such as your muscle-skeleton system (you walked, tripped, caught yourself, and picked up the boy), your respiratory system (you breathed), and your nervous system, including both your peripheral and central nervous systems.

དང་དེའི་ཆ་ཤས་རྣམས་གྲུབ་པའི་སྒོ་ནས་དེས་ཕྲ་ཕུང་ཕན་ཚུན་གྱི་སྦྲེལ་སྦྱོར་བསྐྱེད་ཚུལ་ང་ཚོས་ཤེས་ཡོད། དེ་བཞིན་དུ། འདུས་རྫུལ་གྱི་རྣམ་གྲངས་སྣ་ཚོགས་དང་། ཛ་པོར་ཆ་བོར་རིག་ཐུབ་བྱེད་སྐབས་ང་ཚོས་ཚུར་སྣང་སྦྲིན་པར་གནད་ཆེ་བའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དང་ཤ་གནད་ཕྲ་ཕུང་ལྷ་བུ་ཕྲ་ཕུང་གི་རིགས་སྣ་ཚོགས་ཤིག་གཞི་རིམ་གྱི་རྩ་རྫས་དེ་རང་གིས་བསྐྲུན་ཚུལ་ཡང་ང་ཚོས་ཤེས་ཡོད། སློབ་དེབ་དེ་དག་གི་ནང་ཁྱིམ་རྒྱུད་སྟོང་པོའི་ཁྲོན་དུ་དབང་ཆེར་གྱི་རིགས་ཇི་ལྟར་འཕེལ་འགྱུར་བྱུང་ཚུལ་ཐད་གྲོས་སྡུར་བྱས་ཡོད་ལ། དམིགས་བཀར་དུ་དབང་རྩ་ཅན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོའི་ནང་རྣོག་འཛིང་ཆེ་བའི་མཐོང་ཚོར་དབང་པོར་རྟེས་འདེད་ཀྱིས་དེའི་འཕེལ་འགྱུར་རྒྱུད་རིམ་དང་། ཡུལ་གྱི་དངོས་པོ་ནས་ལྡོག་འཕྲོ་བྱེད་པའི་འོད་ལས་སོན་པའི་ཆ་འཕྲིན་དེའི་བགྲོད་ལམ་སྟེ་ང་ཚོའི་མིག་འབྲས་ནས་ཀླད་པའི་བར་གྱི་བགྲོད་ལམ་འདེད་པའི་སྒོ་ནས་མཐོང་ཚོར་འགྲུབ་ལུགས་ཀྱི་ཐབས་འཕྲུལ་བཅས་ལ་གྲུས་ལོན་བྱས་ཡོད།

དབང་རྩ་ཅན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོ་དང་། 'ལུས་ཀྱི་འཚར་འཕེལ་དང་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས་''མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གསུམ་པ་བཅས་ཀྱི་ནང་། ང་ཚོས་འདུས་རྫུལ་དང་ཕྲ་ཕུང་རིམ་པ་ནས་དབང་པོ་དང་དབང་པོའི་མ་ལག་རིམ་པའི་བར་རྒྱ་བསྐྱེད་ལུགས་ལ་བལྟས་ཡོད། དེ་དག་ནི་ཚེ་སྲོག་དང་འབྲེལ་བའི་སྐྱེ་དངོས་ཐེམ་སྐས་སྟེང་གི་གདང་བུ་གོང་མ་དག་ཡིན། ང་ཚོས་གདང་བུ་གོང་མར་ཡར་འཛེགས་པ་དང་ཆབས་ཅིག་བཀོད་དབྱིབས་དང་བྱེད་ལས་སྦྲེལ་བའི་རྨང་གཞིའི་རྩ་འཛིན་ཡིད་ལ་དྲན་བཞིན་དུ་ལུས་ཕུང་འགྲུབ་བྱེད་ཀྱི་དབང་པོའི་མ་ལག་སོ་སོའི་གྲུབ་ཆ་དང་། མ་ལག་ཕན་ཚུན་དབར་འགྲུབ་པའི་སྦྲེལ་སྦྱོར་གྱི་རྣམ་གྲངས་སྐོར་ཡང་ཤེས་ཡོད། དེ་ལྟའི་མ་ལག་གི་ཁོངས་སུ་དབང་རྩའི་མ་ལག་དང་། དེ་བཞིན་དུ་སྐྱེ་འཕེལ་མ་ལག འཇུ་བྱེད་མ་ལག དབུས་སྐྱོམ་མ་ལག ཤ་གནད་མ་ལག ནད་འགོག་མ་ལག སྙིང་རྩ་མ་ལག འབྱིན་རྫབ་མ་ལག ནང་རྐེན་མ་ལག སྐྱི་ལྤགས་མ་ལག གཅིན་འདོན་མ་ལག་བཅས་འདུས་ཡོད།

མཐར། 'ལུས་ཀྱི་འཚར་འཕེལ་དང་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས་''མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གསུམ་པའི་ནང་། སླར་ཡང་འཕེལ་འགྱུར་རིག་པའི་ལྟ་ཕྱོགས་ནས་ང་ཚོས་ལུས་ཀྱི་འཚར་འཕེལ་སྐོར་གྲོས་སྡུར་བྱས་ལ། དེ་ཡང་ལྟོས་འཇོག་གིས་གནས་སྟངས་སྟབས་བདེ་ཞིག་སྟེ། སྨུག་ཕུང་སྲོག་ཆགས་ཤིག་ནས་འགོ་བརྩམས་ནས་དེའི་ཕྲ་ཕུང་དང་འདུས་རྫུལ་རིམ་པའི་རྨང་གཞིའི་ཐབས་ཚུལ་རིགས་ཏེ། རྫས་འགྱུར་གཟར་གཤིས་ཀྱི་རྣམ་པ་གཞི་ལ་བཟུང་ནས་རྫས་འབྲེལ་ཕྱོགས་བསྒྱུར་གྱི་ཆ་འཕྲིན་གཏོང་འགྲོས་བྱེད་རིམ་བརྒྱུད་ཕྲ་ཕུང་རིམ་པའི་འགྲུལ་བསྐྱོད་སློང་ཚུལ་དེ་དག་སྐྱེ་དངོས་རྣམ་པ་ཀུན་གྱི་འཚར་འཕེལ་ནང་བཀོལ་སྤྱོད་བྱེད་པ་དང་གཅིག་མཚུངས་ཡིན་ཚུལ་བསྟན་ཡོད། སྐྱེ་ལྡན་རྣམ་པ་ཞིག་ལ་མཚོན་ན་ཕྲ་ཕུང་གཅིག་དང་ཊི་ཨེན་ཨེའི་ཚོགས་འདུས་གཅིག་ནས་འགོ་རྩོམ་ལ། དེ་ནས་རིམ་གྱིས་དེ་ཉིད་ཡང་ཡང་འགྱེ་འགྱུར་ཐེབས་པས་ཊི་ཨེན་ཨེ་གཅིག་གྱུར་དེ་ག་རང་བཟུང་བའི་ཕྲ་ཕུང་དུ་མར་འཕེལ་ཚུལ་ང་ཚོས་ཤེས་ཡོད། དེ་ལྟ་ནའང་། འཚར་འཕེལ་གྱི་རྒྱུད་རིམ་ཁྲོད་དུ་རིམ་གྱིས་ཕྲ་ཕུང་དེ་རྣམས་རེ་རེ་ནས་རང་གཤིས་ཐ་དད་ཅན་དུ་གྱུར་པས། དེའི་མཇུག་འབྲས་སུ་མཐར་དབང་པོ་གསར་པ་དང་། དབང་པོའི་མ་ལག་གསར་པ། དེ་ལས་སྐྱེ་ལྡན་རྣམ་པ་གསར་པ་བཅས་འགྲུབ་ཚུལ་ཡང་ང་ཚོས་མཐོང་ཡོད། སྐྱེ་ལྡན་དེ་དག་ལས་(མིའི་འགྲོ་བ་ལྟ་བུ་) འགའ་རེར་ཕྲ་ཕུང་གི་ཁ་གྲངས་ཁྲག་ཁྲིག་ཆེན་པོ་དུ་མ་ལྡན་ཡོད་པ་རེད།

དོན་དོ་མར་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་བྱེད་སྒོ་གང་ཞིག་ཡིན་ནམ།

དེས་ན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་དོན་དོ་མར་ལས་ལ་ཇི་ལྟར་འཇུག་གམ་ཞེ་ན། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་བྱེད་སྒོ་སྐོར་ཞིབ་ཆགས་སུ་ཤེས་པར་ང་ཚོས་ཕྱར་སྦྱངས་ཟིན་པའི་སྐྱེ་དངོས་ཚན་རིག་དང་འབྲེལ་བའི་བདེན་དངོས་དང་རིག་པ་མང་པོ་ཞིག་མཉམ་སྡེབ་བྱེད་དགོས་པ་ཡོད། དེས་ན་གོང་དུ་གླེང་བའི་མཚམས་སྦྱོར་གྱི་བྱུང་བ་དེའི་རྨང་གཞིའི་སྐྱེ་དངོས་གནས་སྟངས་ཏེ། སྐྱེ་ལྡན་སྲོག་ཆགས་ཀྱི་གནས་རིམ་ནས་འདུས་རྫུལ་བར་གྱི་གཞི་རིམ་གནས་སྟངས་དེར་ང་ཚོས་བསམ་གཞིག་ཅིག་བྱ།

འགོ་མའི་མཚམས་སྦྱོར་གྱི་བྱུང་བ་དེར་ཉེ་རིགས་ཀྱི་ཁྱུངས་གཅིག་ཏུ་གཏོགས་པའི་སྐྱེ་ལྡན་རྣམ་པ་གཉིས་ཕན་ཚུན་སྦྲེལ་སྦྱོར་བྱས་ལ། དེར་ཁྱོད་ཀྱི་ལུས་ཁམས་མ་ལག་(འདི་''ལུས་ཀྱི་འཚར་འཕེལ་དང་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས་''མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གསུམ་པར་གྲོས་སྡུར་བྱས་ཡོད།)དུ་མ་དང་འབྲེལ་བ་ཡོད་དེ། (ཁྱོད་ཉིད་གོམ་པ་སྤོས་པ་དང་། འགྱེལ་གྲབས་བྱས་པ། དེ་མ་ཉིད་དུ་རང་སྲུང་བྱས་པ། བྱིས་པ་བང་བར་བླངས་པ་བཅས་ལ་)ཁྱོད་ཀྱི་ཤ་གནད་དང་དབུས་སྐྱོམ་མ་ལག་འབྲེལ་ཞིང་། (ཁྱོད་ཀྱིས་དབུགས་གཏོང་ལེན་བྱས་པས་)འབྱིན་རྫབ་མ་ལག་ཀྱང་འབྲེལ་ལ། དེ་བཞིན་དུ་མཐའ་འཁོར་དང་ལྟེ་བའི་དབང་རྩ་མ་ལག་གཉིས་ག་ཚུད་པའི་ཁྱོད་ཀྱི་དབང་རྩ་མ་ལག་ཀྱང་འབྲེལ་བ་ཡོད།

Your nervous system was particularly important for many aspects of this scene: your reflex reaction (you tripped and didn't fall), your sensory systems (you sensed the boy through vision and hearing), your limbic and emotional system (you determined the boy was sad by his motions, sounds, and facial movements, and you felt emotion in response), your movement, balance, and posture, and your speech to communicate with the boy. Organs that were used included your eyes, ears, brain, lungs, muscles, and nerves. Throughout this experience, your nervous system kept track of all these systems and their interactions with each other.

And, of course, all these organs are composed of their own particular cell types. As we learn in *LSP-II: Genes and Cells,* within one organism all cells share basic characteristics and the same genes; the cells of different organs within that organism express different sets of genes to produce different proteins and other molecules that enable their particular functions.

Recall that the primary cells of your nervous system are called neurons (Figure 1). As you walked through the woods, your neurons were working at many levels—all involved in gathering, processing and sending information. Your sensory neurons gathered information about the environment and sent it to your central nervous system (spinal cord and brain). Other neurons connecting your central nervous system and muscles allowed you to walk, catch yourself, and pick up the boy. Neurons in your central nervous system integrate and synthesize information from the peripheral neurons, and send information back out to the periphery through more neurons; the result is that you respond to the information your neurons received and processed. The function of the neurons is reflected in their structures; neurons that do different things look and act differently.

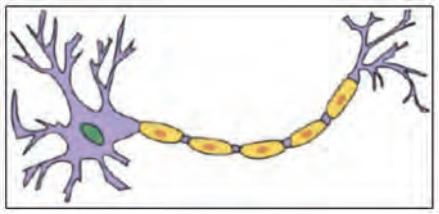
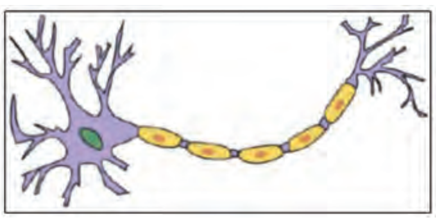


Figure 1: A neuron is a specialized type of cell found in the nervous system.

Even within a single neuron, the different structures of the cell reflect different functions (Figure 2). Look at the interesting shape of a typical neuron. Neurons have dendrites at one end where they receive information from the environment, usually in the form of signals from other neurons. Neurons have a cell body where the nucleus and other cellular machinery reside, an extended axon down which the neuronal message is sent, and a terminal where the message is passed to other cells. Depending on which part of the cell you look at, you'll find different types of molecules carrying out the functions of that part of the cell. For example, as we'll see, the parts of the neuron involved in receiving external information have special protein receptors in their cell membranes for binding information molecules.

མཚམས་སྦྱོར་གྱི་བྱུང་བ་འདིའི་ཆ་ཤས་མང་པོའི་ནང་ཁྱོད་ཀྱི་དབང་རྩ་མ་ལག་དེ་ཉིད་དམིགས་བསལ་གྱིས་གནད་ཆེ་སྟེ། ཆ་ཤས་དེ་དག་གི་ཁྲོད་དུ་(ཁྱོད་ཀྱི་རྐང་པ་འཁྲིལ་ཡང་མ་འགྱེལ་བའི་སྐབས་)ཁྱོད་ཀྱིས་གྲུབ་པའི་ལྷོག་འགྲུལ་ཡ་ལན་དེ་དང་། (ཁྱོད་ཀྱིས་མིག་དང་རྣ་བ་བརྒྱུད་ནས་དེར་བྱིས་པ་ཞིག་ཡོད་པར་ཚོར་བའི་)ཁྱོད་ཀྱི་དབང་ཚོར་མ་ལག (བྱིས་པའི་འགྲུལ་སྤྱོད་དང་། སྒྲ་དང་། གདོང་གི་རྣམ་འགྱུར་བཅས་ལས་ཁོའི་ཡིད་སྐྱོའི་གནས་བབ་ཁྱོད་ཀྱིས་ཚོར་ཞིང་། དེར་ཡ་ལན་དུ་ཁྱོད་ཀྱིས་སེམས་སྐྱོང་བསྐྱེད་པས) ཁྱོད་ཀྱི་མཐའ་འཁོར་མ་ལག་དང་སེམས་སྐྱོང་མ་ལག ཁྱོད་ཀྱི་འགྲུལ་སྐྱོད་དང་། སྙོམ་སྒྲིག་བྱ་བ། ལུས་ཀྱི་སྟངས་སྟབས། བྱིས་པ་དེར་བྱས་པའི་ཁྱོད་ཀྱི་གླེང་མོལ་བཅས་ཚུད་ཡོད། སྐབས་དེར་ཁྱོད་ཀྱིས་བེད་སྤྱད་པའི་དབང་པོའི་གྲས་སུ་མིག་དང་། རྣ་བ། ཀླད་པ། གློ་བ། ཤ་གནད། དབང་རྩ་བཅས་ཚུད་ཡོད། སྐྱོང་བ་འདིའི་དུས་ཡུན་རིང་གོང་གསལ་ལུས་ཀྱི་མ་ལག་དེ་ཀུན་དང་། ཡང་དེ་དག་པན་ཚུན་དུ་འགྲུབ་པའི་སྦྲེལ་སྦྱོར་རྣམ་པ་ཀུན་ལ་ཁྱོད་ཀྱི་དབང་རྩ་མ་ལག་གིས་རྒྱུས་ལོན་རྗེས་འཚོལ་བྱས་ཡོད།

དེར་མ་ཟད། དབང་པོ་འདི་ཀུན་རང་རང་གི་ཕྲ་ཕུང་གི་རིགས་ངེས་ཅན་དག་ལས་གྲུབ་པ་ཡང་འདིར་ངེས་དགོས། ང་ཚོས་རིགས་རྫས་དང་ཕྲ་ཕུང་'མིང་བྱུང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སློབ་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པ་ལས་ཤེས་པ་བཞིན། སྐྱེ་ལྡན་གྱི་རྣམ་པ་གཅིག་ལ་ལྡན་པའི་ཕྲ་ཕུང་ཀུན་གཞི་རིམ་གྱི་ཁྱད་གཤིས་གཅིག་གྱུར་ཡིན་པ་དང་། དེ་དག་ལ་ཡོད་པའི་རིགས་རྫས་རྣམས་ཀྱང་གཅིག་མཚུངས་ཡིན། དེ་ལྟ་ནའང་། སྐྱེ་ལྡན་སྲོག་ཆགས་དེའི་དབང་པོ་སོ་སོའི་ཕྲ་ཕུང་གི་རིགས་རྫས་ཁྲོད་ནས་རིགས་རྫས་ཀྱི་ཚོགས་ཕུང་མི་འདྲ་བ་ཡར་སད་པའི་དབང་གིས་བྱེད་ལས་དམིགས་བཀར་བ་བསྐྱེད་པའི་འདུས་རྫུལ་མི་འདྲ་བ་དང་སྤྱི་རྫས་མི་འདྲ་བ་དེ་འདྲ་བསྐྲུན་གྱི་ཡོད།


དཔེ་རིས། ༡ དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ནི་དབང་རྩ་མ་ལག་གི་ཁྲོད་དུ་རྟེན་པའི་ཕྲ་ཕུང་གི་རིགས་དམིགས་བཀར་བའི་གྲས་ཤིག་ཡིན།

ཁྱོད་ཀྱི་དབང་རྩ་མ་ལག་གི་གནད་ཆེའི་ཕྲ་ཕུང་དེ་དག་ལ་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཟེར་གྱི་ཡོད་པ་འདིར་ཕྱིར་དྲན་བྱེད་དགོས་ (དཔེ་རིས། ༡)། ཁྱོད་ཉིད་ནགས་ཀླུང་ཁྲོད་དུ་བསྒྲོད་སྐབས་ཁྱོད་ཀྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་བང་རིམ་མང་པོའི་ནང་དུ་ལས་ལ་ཞུགས་ཡོད་དེ། ཕྲ་གཟུགས་དེ་ཀུན་གྱིས་ཆ་འཕྲིན་གྱི་རིགས་བསྡུ་བ་དང་། དེ་དག་ལ་དབྱེ་གཅོད་བྱེད་པ། དེ་དག་འཛིན་གཏོང་བྱེད་པ་ལྟ་བུའི་བྱེད་སྒོར་ཞུགས་ཡོད། ཁྱོད་ཀྱི་དབང་ཚོར་དང་སྦྲེལ་བའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་ཀྱིས་ཁོར་ཡུག་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་བསྡུས་ནས་ཁྱོད་ཀྱི་དབང་རྩ་ལྟེ་བའི་མ་ལག་(རྒྱུངས་པ་དང་ཀླད་པ།)ལ་བཏང་ལ། ཁྱོད་ཀྱི་དབང་རྩ་ལྟེ་བའི་མ་ལག་དང་ཤ་གནད་སྦྲེལ་བྱེད་ཀྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་རྣམས་ཀྱིས་ཁྱོད་ཉིད་གོམ་པ་སྤོ་བ་དང་། རང་སྐྱོང་བྱས་པ་དང་། བྱིས་པ་པང་དུ་ལེན་པའི་བྱ་བར་ཡང་རམ་འདེགས་བྱས་ཡོད། ཁྱོད་ཀྱི་དབང་རྩ་ལྟེ་བའི་མ་ལག་ཁྱོན་གྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་ཀྱིས་མཐའ་འཁོར་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་ནས་ཐོབ་པའི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་ལ་འཚམ་སྒྲིག་དང་མཉམ་སྡེབ་བྱས་རྗེས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ལྷག་མ་གཞན་བརྒྱུད་ནས་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་མཐའ་འཁོར་མ་ལག་ལ་ཕྱིར་སློག་བྱེད་ལ། དེའི་འབྲས་བུར་ཁྱོད་ཀྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་ཀྱིས་བྲངས་ཤིང་དབྱེ་གཅོད་བྱས་པའི་ཆ་འཕྲིན་དག་ལ་ཁྱོད་ཀྱིས་ཡ་ལན་སྤྲོད་ཐུབ་པ་རེད། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་སོ་སོའི་བྱེད་ལས་རྣམས་ཕྲ་གཟུགས་དེ་དག་སོ་སོའི་དབྱིབས་བཀོད་ཀྱི་རྣམ་པས་མཚོན་འགྲེལ་བྱེད་ཐུབ་པ་ནི། སྣང་ཚུལ་ལ་མི་འདྲ་བའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་བྱེད་ལས་ཀྱང་མི་གཅིག་པར་ཞུགས་པའི་གནད་ཀྱིས་ཡིན།

དེར་མ་ཟད། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཁེར་རྐྱང་གཅིག་གི་ཁོག་ནང་གི་དབྱིབས་བཀོད་ཐ་དད་པ་སོ་སོས་ཀྱང་བྱེད་ལས་མི་འདྲ་བ་མཚོན་གྱི་ཡོད།(དཔེ་རིས། ༢) དེ་ཡང་འཆར་ཅན་གྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་གི་ཡིད་དབང་འགྲུག་པའི་བཟོ་དབྱིབས་ལ་གཅིག་ལྟོས་དང་། དེའི་ཟུར་སྣེ་གཅིག་ལ་བརྡ་ལེན་རྩ་སྲབ་དེ་འདྲ་ཡོད་ཅིང་། དེ་དག་གིས་རང་གི་ཁོར་ཡུག་ནས་ཆ་འཕྲིན་ཚུར་ནང་འཛིན་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། རྒྱུན་ལྟར་དུ་བྱས་ན་ཆ་འཕྲིན་དེའི་རིགས་ནི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་དག་ནས་ཚུར་སོན་པའི་བརྡ་འཕྲིན་དག་ཡིན། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་ལ་ཕྲ་ཕུང་ལུས་ཤིག་ཡོད་ལ། དེར་ལྟེ་ཉིང་དང་ཕྲ་ཕུང་རིམ་པའི་ནང་ཆ་གཞན་རྣམས་ཚུད་ཡོད་པར་མ་ཟད། རྐྱང་ལག་ཚུལ་གྱི་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་སྲབ་ཞིག་ཀྱང་དེར་མཐུད་ནས་ཡོད། རྐྱང་ལག་འདིའི་སྣེ་ནས་ཕྲ་ཕུང་གཞན་ལ་བརྡ་ལན་གཏོང་བ་རེད། ཁྱོད་ཀྱིས་ཕྲ་ཕུང་ཞིག་གི་ཆ་ཤས་གང་ལ་ཞིབ་ལྟ་བྱེད་བཞིན་པ་ལ་གཞིགས་ཏེ་ཆ་ཤས་དེ་དང་འབྲེལ་བའི་བྱེད་ལས་རྣམས་འདུས་རྫུལ་གྱི་རིགས་མི་འདྲ་བས་ཇི་ལྟར་འགྲུབ་པའི་ཚུལ་རྣམས་ཁྱོད་ཀྱིས་མི་རིང་བར་མཐོང་རྒྱུ་རེད། དེ་ཡང་དཔེར་ན། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་ཆ་ཤས་གང་ཞིག་ཕྱི་ཕྱོགས་ནས་ཆ་འཕྲིན་ནང་འཛིན་བྱེད་པར་གཞོལ་བ་དག་གི་ཕྲ་ཕུང་སྐྱི་མོའི་ཁྲོན་དུ་ཆ་འཕྲིན་གྱི་འདུས་རྫུལ་རིགས་འཚིང་སྒྲོམ་བྱེད་པར་མཁོ་བའི་དམིགས་བསལ་སྤྱི་རྫས་སྣེ་ལེན་པ་དེ་འདྲ་ཆགས་ཡོད་པ་ང་ཚོས་གཤམ་དུ་མཐོང་རྒྱུ་རེད།

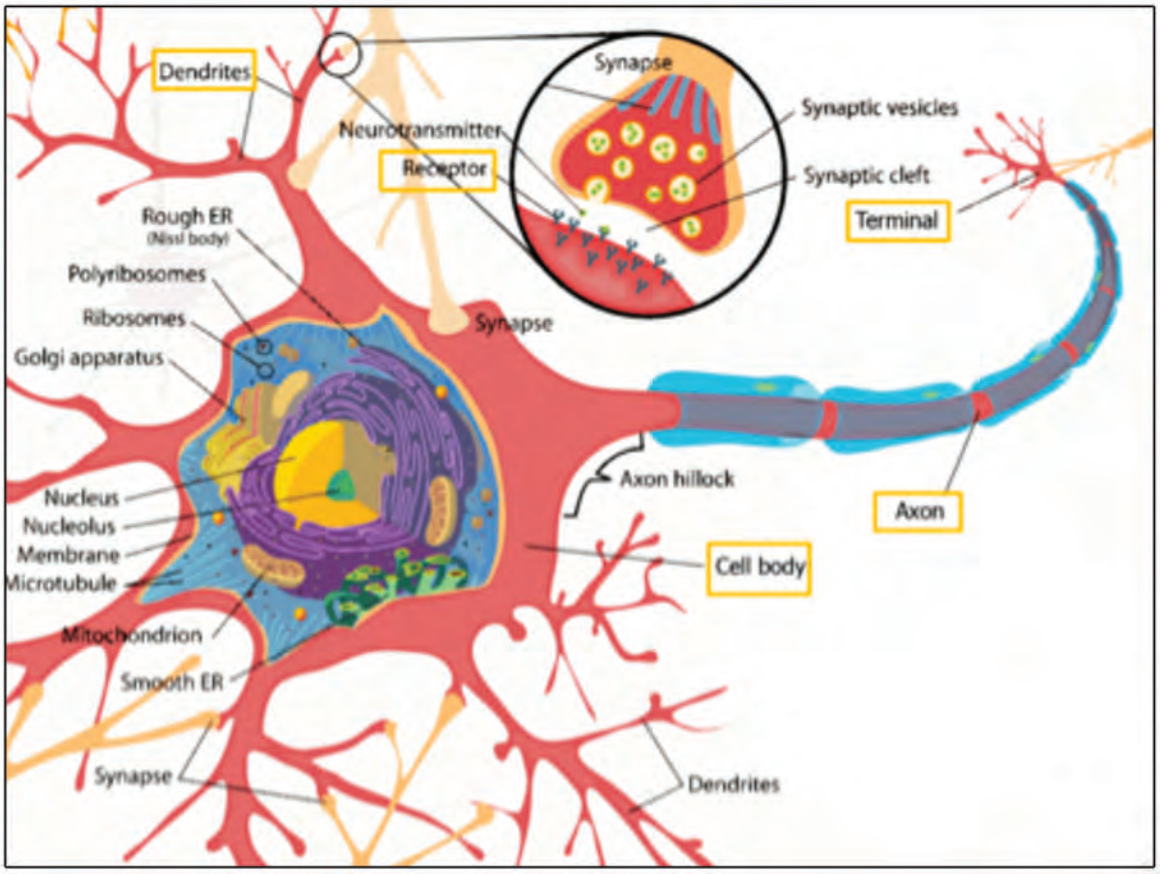


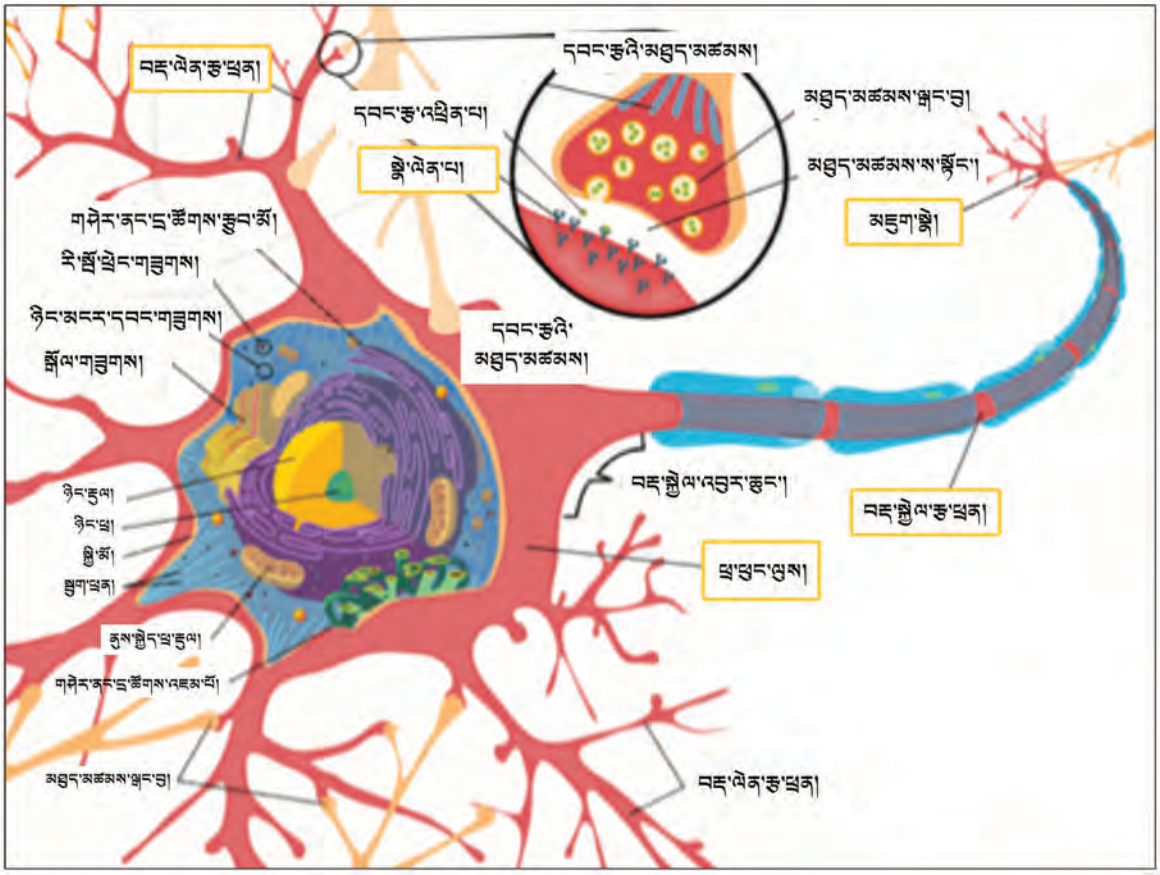
Figure 2: Detailed view of a neuron. Key structures from text outlined in orange. Other structures found in the cell body are discussed in LSP 2

THE NATURE OF THE INFORMATION

How are the neurons involved in your walk along the path, and in finding and helping the boy? How do they receive and send all that information? Neurons send information in two different ways: (1) electrical transmission due to forces caused by the flow of electrically charged particles; and (2) chemical transmission due to forces caused by movement of ions. The overall process is called neurotransmission. Within neurons, the information is sent using electrical charge; between neurons, information is almost always sent chemically (in rare cases information is sent between neurons electrically). First, let's look more closely at electrical charge

ELECTRICAL CHARGE

The fact that the building blocks of all chemicals, atoms, may have a "charge" is fundamental to electricity and to how neurons work. To fully appreciate electrical charge, we first must briefly move pretty far away from your walk in the woods. As we do, remember that a full biological understanding



དཔེ་རིས། ༩ དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་ཤེཀ་གི་ཞེན་ཐུབ་ཀྱི་ཐབས་ཐོག་ཏུ་ཟེར་བ་ནི་ཁ་ཤས་ཀྱི་ཐུན་ཚོད་ལ་ཁ་ཤས་ཀྱི་ཐུན་ཚོད་ཡིན། ཐྲ་ཤུང་ལུས་ཀྱི་ཁོག་ནང་དུ་རྟེན་བའི་དབྱིབས་ཀཱོད་གཞན་རྣམས་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྟོན་འཛོའི་སློབ་དེབ་གཞི་ཡིན། ཐྲ་ཤུང་ལུས་ཀྱི་ཁོག་ནང་དུ་རྟེན་བའི་དབྱིབས་ཀཱོད་གཞན་རྣམས་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྟོན་འཛོའི་སློབ་དེབ་གཞིས་པར་གཏོས་སྤྱད་བྱས་ཟིན།

ཚ་འཕྲིན་ཀྱི་ངོ་བོ།

ཁྱོད་ཀིད་ལས་རྒྱུད་དུ་གོམ་པ་སྟོ་བ་དང་། བྱེས་པ་ཆུང་དུ་དེ་མཐོང་ནས་དེར་རམ་འདེགས་བྱེད་པར་ཞུགས་པ་བཅས་ལ་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་རྣམས་རྡེ་ལྟར་འབྲེལ་བ་ཡོད་དམ། དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དེ་དག་གིས་ཚ་འཕྲིན་དེ་ཀུན་ཆུར་ལེན་ཞིང་པར་གཏོང་ཆུལ་རྡེ་ལྟར་ཡིན་ནམ་ཞེ་ན། དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་རྣམས་ཀྱིས་ཚ་འཕྲིན་གཏོང་ཆུལ་ལ་གཉེས་ཡོད་དེ། ༡༽ སྒོག་ཁུར་འཚང་བའི་རྟུལ་རྩ་རྒྱུ་པ་ལས་ཐོན་པའི་ཤུགས་ལ་བརྟེན་ནས་སྒོག་འགྲུར་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་པ་དང་། ༢༽ བྱེས་རྟུལ་རིགས་ཀྱི་འགྲུལ་སྐྱོད་ཀྱིས་བསྟེད་པའི་ཤུགས་ལ་བརྟེན་ནས་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་པ་བཅས་ཡིན། བྱེད་རིས་འདི་ལ་སྤྱི་ཐོག་ནས་དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་ཞེར་བ་རེད། དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་ཤེཀ་གི་ཁོག་ནང་དུ་ཚ་འཕྲིན་གཏོང་སྐབས་སྒོག་ཁུར་ཤེད་སྤྱོད་བྱས་ཏེ་གཏོང་བ་དང་། དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་ནང་ལན་ཚུན་དུ་ཚ་འཕྲིན་གཏོང་ཞེས་པ་རེད། (རེས་འགའ་ནི་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་ནང་ལན་ཚུན་དུའང་སྒོག་འགྲུར་ཀྱི་ལས་ནས་གཏོང་བ་ཡོད། འོན་ཀྱང་འདི་ལྟར་འབྱུང་བ་ཚེས་དགོན་པོ་ཡིན།) དེས་ན། འདིར་ངང་ཚོས་སོག་མར་སྒོག་ཁུར་ལ་ཞིབ་ལྟོག་བྱེད་ཟྱོག།

སྒོག་ཁུར།

རྩ་འབྱུང་ཀྱི་དངོས་པོ་ཀུན་ཀྱི་རྩོལ་གཞིར་གྱུར་པའི་རྟུལ་ཟན་རྣམས་ལ་ཡོད་པའི་"ཁུར་རྟུལ་"དེ་ནི་སྒོག་གི་དངོས་པོའི་རྣང་གཞིའི་ཚཤན་ཤེགས་ཡིན་པ་དང་། དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་རྣམས་རང་གི་ལས་ལ་འདྲུག་པར་ཡང་སྒོག་ཁུར་དེ་མེད་ཐབས་མེད། སྒོག་ཁུར་སྐོར་ཚ་ཚང་བ་ཞིག་ཤེས་པར་ང་ཚོས་སོག་མར་ནགས་ཀླད་ཁོད་དུ་ཁྱོད་ཀྱིས་གོམ་པ་སྟོ་བའི་གནས་དོན་དེ་ལས་གནས་སྐབས་ཤེས་ལ་ཉ་ཅང་བར་ཐག་རྒྱང་ཡོད་འགོམ་ལ། དེ་ལྟར་འབྱུང་བཞིན་དུ་ང་

of such complex behaviors as walking or helping a child must include an understanding of the physics and chemistry of the biological molecules underlying all our complex behaviors.

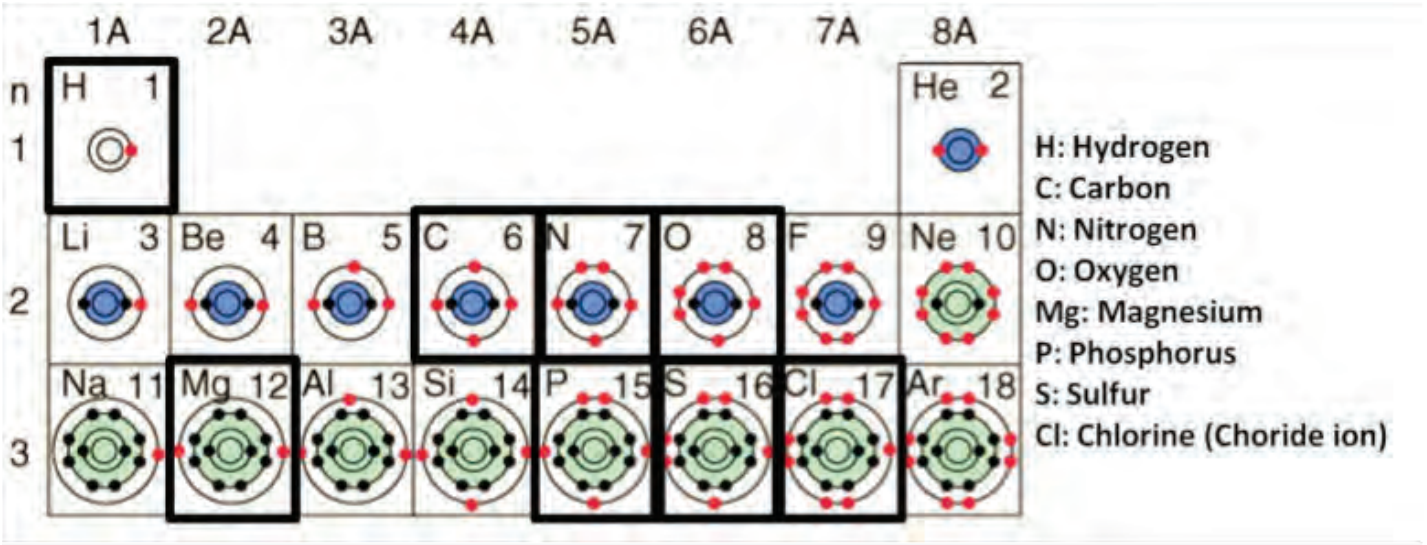


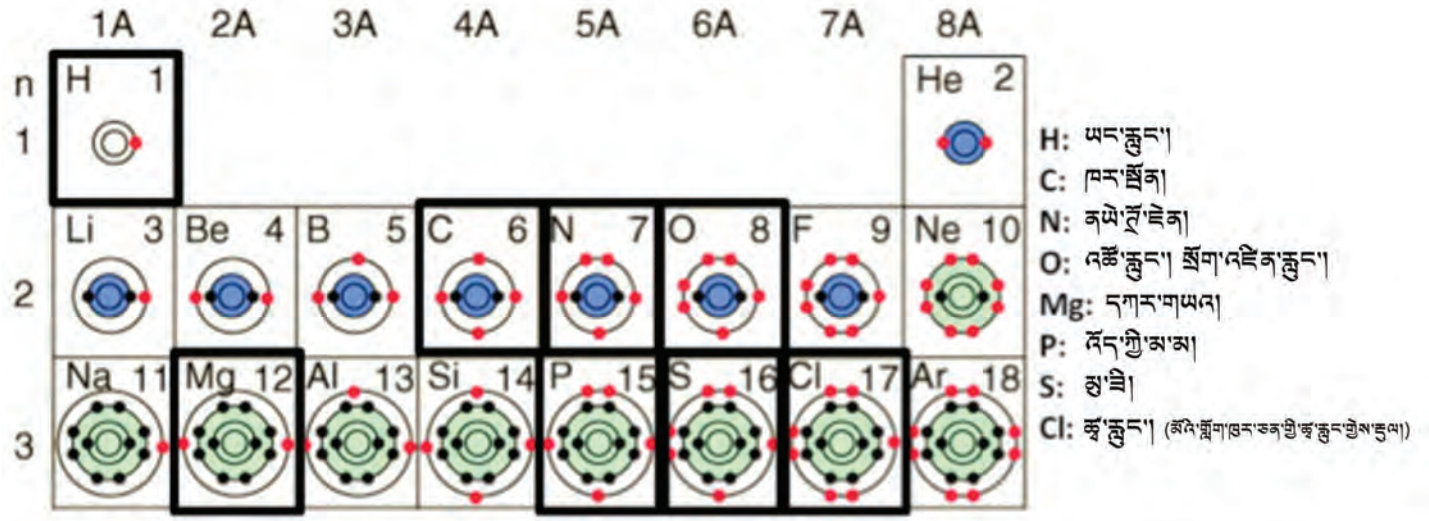
Figure 3: The elements most vital for brain function shown (with bold box) within a subset of the periodic table. Elements in the same column are said to be in the same "group" and share similar properties in that they have the same number of electrons in their outer shell. Notice that all of the biologically relevant atoms have space in their outer shell, while the elements in the rightmost column have a full outer shell and are not important for brain function.

To begin thinking about charge, it is useful to review our discussion of atoms and basic chemistry from *LSP-II: Genes and Cells*. Recall that all living things are made up of different molecules, and all those molecules are composed of atoms or elements (Figure 3). The most common elements in biological organisms carbon, oxygen, nitrogen, and hydrogen, but many others are vital, including phosphorous, calcium, sulfur, iron, magnesium, zinc, and copper. Three elements are particularly important for neurotransmission: potassium, sodium, and chlorine. To explore this further, the discussion below is reprinted here from *LSP-II: Genes and Cells:*

How and why do atoms interact to form molecules like water? Just like cells and organisms interact with their environments based on their traits, atoms also interact with their environments (which include many other atoms). Atoms interact with each other based on their chemical and physical traits. In this case the important trait is the electrical charge of the particles that make up atoms.

Notice the central ball and surrounding circles shown for each atom in the periodic table. The ball in the middle of each element represents the nucleus of the atom (this nucleus is, of course, very different than the nucleus of a cell). The atomic nucleus is made of positively charged particles called

ཚོས་འདི་ཡུར་ཐྲིར་རྩིད་བྱེད་དགོས་པ་ཡོད་དེ། གོམ་པ་གཅིད་པ་དང་། ཡང་ན། སྐུ་གུར་རོགས་སྐྱོར་བྱེད་པ་འབྲ་བའི་གཅིག་ཐྲིང་འཛིང་ཅན་དག་གི་སྐྱེ་དངོས་རིམ་པའི་གནས་ལུགས་ཚ་ཚང་ཞིག་རྟོགས་པ་ལ་སྐྱེ་འཛིན་ཅན་གྱི་གཅིག་ཐྲིང་དེ་ཀུན་གྱི་རྣམ་དཔྱོད་ཤུགས་ཀྱི་རྒྱབ་ཏུ་སྐྱུར་བའི་སྐྱེ་ལུས་རྣམས་ཀྱི་ཐུན་འགྲུལ་གནས་ལུགས་དང་ལས་ཚུལ་གནས་ལུགས་སོ་སོ་ནས་རྟོགས་དགོས་པ་དེ་ཡིན།



He ཧེ་ལི་ཡམ།
Li ལི་ཐི་ཡམ།
Be བེ་དི་ལི་ཡམ།
B ཚ་ལ་ནག་བོ།
F ཐྱ་རོ་ཝིན།
Ne ནེ་རྒྱང་།
Na ཟྭ་ལ་རྩྭས།
Al ཉ་ཡང་།
Si སི་ལི་ཀོན།
Ar ཨར་གོན། གཏུག་རྒྱང་།

དབེ་རིས། རེ་འཁོར་རྒྱུན་རེ་འཁྱུ་མིག་གི་དྲ་མིག་ཁོངས་འཛིན་མཐའ་ཐེག་མ་ཐུག་པོས་བསྐོར་བའི་སྐྱོན་བྱུའི་ནང་གསལ་བ་རྣམས་ནི་སྐད་བའི་བྱེད་ལས་དང་འབྲེལ་བའི་རྩ་རྩེ་ཁོས་རྣམས་རེད། ཡང་རེ་འཁྱུ་མིག་དེའི་ནང་གི་དྲ་མིག་སྐྱེང་ཁོག་ཐད་སོང་འཁོད་པའི་རྩ་རྩེ་"དུ་ཚོགས་"ཞེས་གཏེག་པར་གཏོགས་པ་དག་ཡིན་ཞེང། དེ་ཀུན་རང་གི་ཕྱི་ཡི་སྐྱོགས་རེམ་ཁྲོད་དུ་བློག་རྩལ་གྱི་ཐུབ་མཐའ་ཡོད་པའི་ཚ་ནས་ཁྲད་ཆོས་མཚུངས་པ་ཡིན། འདི་ངོ་སྤྲོད་བྱེད་ཁོས་པ་ཞེ། སྐྱེ་ཤུན་སྤོག་ཚགས་དང་འབྲེལ་ཆེ་བའི་རྩལ་ཐབ་ཀྱི་ཕྱི་ཕྱིའི་སྐྱོགས་རིམ་ཁྲོད་དུ་སྟོང་ཆ་ཡོད་པ་རེ་དང། ཡང་རེ་འཁྱུ་མིག་གི་གཡས་མཐར་འཁོད་པའི་དྲ་མིག་ནང་གི་ཚ་རྩྭས་རྣམས་རང་གི་ཕྱིའི་སྐྱོགས་རིམ་ཁྲོད་ཅིག་ཡོད་པ་དེ་ཙམ་གལ་ཆེ་མིན་པ་བཅས་ཡིན།

(ཟློག་)ཁྲང་སྐོར་བསམ་གཞིག་བྱ་རྒྱུར་འགོ་རྩོམ་པའི་སྐབས་འདིར། 'རིགས་རྩལ་དང་ཐུ་ཤུང་''མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཆེ་སོག་ཚན་རིག་གི་སྟོན་འཚོའི་སྐྱོན་དེ་བ་གཉེས་པའི་ནང་རྩལ་ཐད་རྣང་ཁྱབ་གནས་ལུགས་སྐྱོར་གོས་སྤྱང་བྱས་པ་དེ་འདིར་བསྒྲུར་ཞེན་ཅེག་བཅུ་ཆོག་པོ་ཀུན་འདུས་རྩལ་གྱི་རིགས་སྤྱ་ཆོགས་ལས་བྱུབ་པ་དང་། འདུས་རྩལ་དེ་ཀུན་རྩལ་ཁྱབ་ནས་རྩལ་རྩལ་གྱིས་བྱུབ་ལུགས་རྣམས་འདིར་དབྱེ་དགོས།(དེའི་རིས། ཇ) དེ་ཡང་འཆོ་ཞིང་གསོན་པའི་སྐྱེ་དངོས་དག་གི་ཁོག་ནང་གི་ཆེས་ཡོངས་བྱུགས་ཀྱི་རྩ་རྩལ་ཁངས་སྟོག། སོག་འཇིན་རྒྱང་། ནཡེ་རྩེ་རེན། ཡང་རྒྱང་བཅས་ཡིན་སོད། དེ་ཡུར་ནའང་། རྩ་རྩལ་གནད་ཅན་གཞན་ཅན་ཁང་ཁང་དག་ཅེག་ཀྱང་ཡོད་ལ། དེ་དག་གི་ཁོངས་སུ་འོད་ཀྱི་མ་མ་དང་། དཀར་ཁནམ། སུ་ཟི། ཡུགས། དཀར་གཡའ། ཉིག་ཚ། ཟངས་བཅས་ཚུད་ཡོད། ཡང་དབང་རྩ་འཕེན་གཏོང་བྱ་ཤ་ལ་དམིགས་བསལ་གལ་ལགས་གནད་ཆེ་བའི་རྩ་རྩལ་གསུམ་ཡོད་པ་ཞེ། དུག་སེལ་དཀར་ཝོ་དང་། བུལ་རྩལ། ཚྭ་རྒྱུང་བཅས་ཡིན། གནད་དོན་འདི་རྒྱས་པར་རྩོམ་ཞིག་ཞེབ་བྱ་ཆུའི་ཐོག་ཡོད་པ་ཞེས་ཟེར་ཆོག

"ཚུལ་རྡེ་ཡུར་དང་རྒྱ་མཚན་ཅེས་རྩུལ་ཐུན་རྩལས་བན་ཚུན་འཛེས་སྐྱོར་བྱུས་ཀེ་ཆུ་ཡུ་བྱའི་འབྲུས་རྩུལ་གྱི་རིགས་རྩལས་བྱུབ་པ་ཡིན་ནམ་ཞེ་ན། རྡེ་ཡུར་ཐུ་ཤུང་རང་རང་གི་ཁྲད་གཡིས་གཞི་ལ་བྱུས་ཀེ་སོ་སོའི་ཁོར་ཡུག་དག་དང་སྐྱེལ་སྐྱོར་བྱེད་པ་དེ་བཞིན་དུ། རྩུལ་ཐུན་དག་ཀྱང་སོ་སོའི་ཁོར་ཡུག་(དེར་རྩུལ་ཐུན་གཞན་མང་པོ་འབྲུས་ཡོད།)དང་སྐྱེལ་སྐྱོར་བྱེད་ལ། རྩུལ་ཐུན་རྩལས་ཀྱང་རང་རང་གི་རྩལ་འགྲུར་དང་ལུས་འགྲུར་ཁྲད་གཡིས་གཞི་ལ་བྱུས་ཀེ་ཡན་ཚུན་སྐྱེལ་སྐྱོར་བྱེད་པ་རེད། འདིར་སྐབས་འབྲེལ་ཀྱི་ཁྲད་གཡིས་གནད་ཆེ་བ་དེ་ནི་རྩུལ་ཐུན་དེ་དག་གང་ལས་བྱུབ་པའི་རྩུལ་རྩལ་རྩལས་ལ་ཡོད་པའི་སྐྱོག་ཁྲར་དེ་རེད།" ཅེས་དང་།

"འཁོར་རྒྱུན་རེ་འཁྱུ་མིག་ནང་གི་རྩུལ་ཐུན་དེ་རེའི་ཚོ་སར་བསྒྲུབ་པའི་ཕྱེ་བའི་སྐྱོར་ལོ་དང་མཐའ་འཁོར་ཀྱི་སྐྱོར་ཞིག་དག་ལ་

protons and non-charged particles called neutrons. The circles represent the paths, or shells, of the negatively charged particles called electrons. Each element is defined by the number of these particles—protons, neutrons, and electrons— it has. For example, you can see in the chart that a single atom of hydrogen has one electron and one proton.

An established principle of physics, chemistry and biology is that negative and positive charges attract, while equal charges repel each other. This is important in many areas. In terms of the atom, the positively charged protons of the nucleus attract the negatively charged electrons of the outer shells, holding the atom together. The degree to which the atom 'holds' its electrons becomes important for determining how each atom interacts with other atoms in its environment.

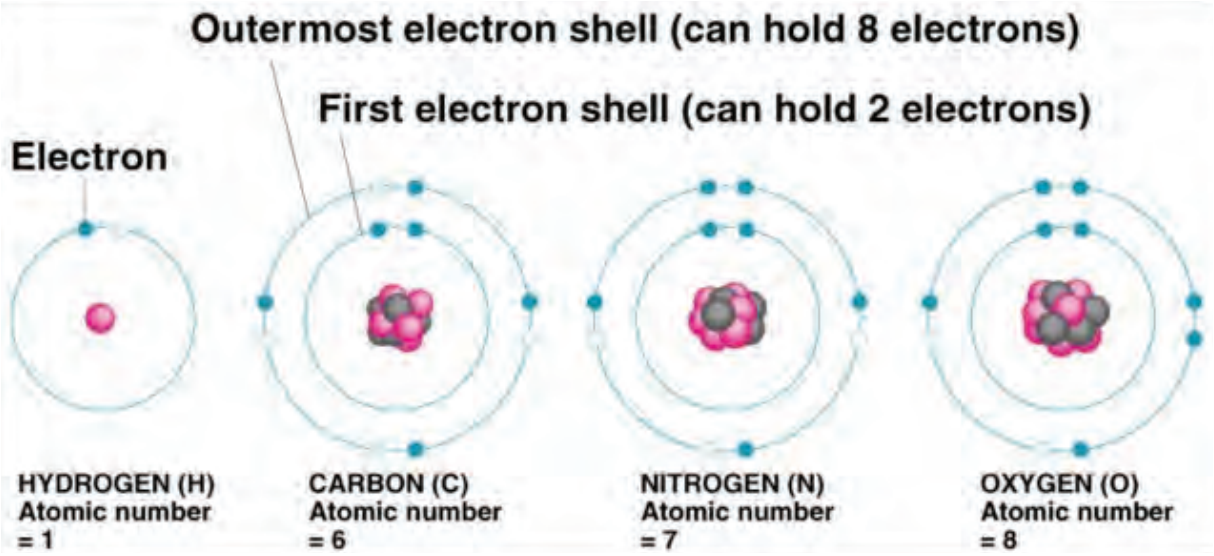
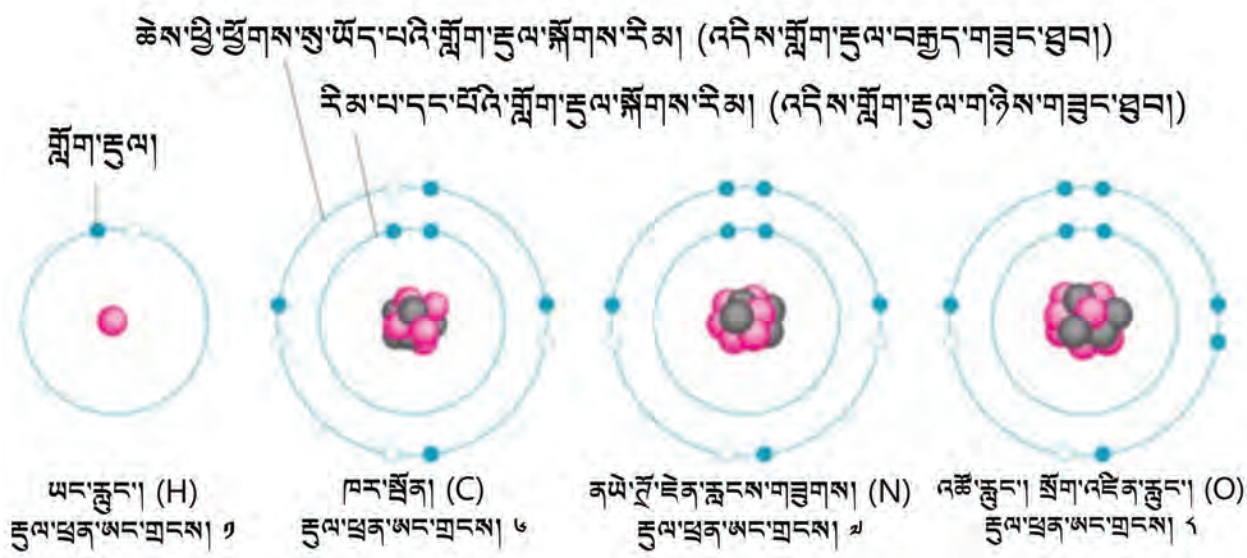


Figure 4: Four biologically relevant elements are pictured here and represented by the nucleus (made of protons and neutrons) and negatively charged electrons within the electron shells

Electrons move around the atomic nucleus in complicated paths, but we use a circle to simplify the story. Electron shells fill up with electrons beginning from the inside, nearest the nucleus, and moving to the outside. Notice the shell closest to the nucleus can only hold two electrons, while the shells farther from the nucleus can hold up to eight electrons (Figure 4). In each of the elements highlighted with the periodic table in Figure 3 - the ones most commonly found in living organisms (hydrogen, carbon, nitrogen, oxygen, sodium, magnesium, phosphorous, sulfur, and chlorine) - the outside electron shell is not full. This outside shell is called the valence shell, and it is no coincidence that valence shells are unfilled in these elements of life.

ལྟོས་དང་། ཙ་རྡོས་རེ་རེའི་ཕྱེ་བའི་སྒོ་ལོ་དེས་རྡུལ་ཟན་དེའི་ཉིང་རྡུལ་མཚོན་གྱི་ཡོད། (འདིའི་ཉིང་རྡུལ་ནི་ཟ་ཐུང་གི་ཉིང་རྡུལ་(ལས་ལྟེ་ཉིང་)ལས་ཆེས་ཐ་དད་ཡིན་པ་ཁྱོད་ཀྱིས་ཤེས་རེས་རེད།) རྡུལ་ཟན་གྱི་ཉིང་རྡུལ་ནི་སྐུས་རྡུལ་ཏེ་ཐུང་ཆུང་བའི་ཚྭོ་རྡུལ་དང་། བར་རྡུལ་ཏེ་ཁྲུང་ཁེད་བའི་རྡུལ་བཅས་གཉིས་ཀྱིས་བྱུབ་ལ། མཐའ་འཁོར་གྱི་ཚྭོ་ཞིག་ཏུ་ཚོའི་ཚྭོ་ཞིག་ཁྲུང་འཚང་བའི་རྡུལ་དག་གི་བཟོད་ལས་མས་སྐོགས་རེས་རེད། ཙ་རྡོས་སོ་སོའི་དང་བཞིན་གང་ཡིན་ས་དེ་ནི་རང་ལ་ཡོད་བའི་རྡུལ་རྡོས་ཏེ། སྐུས་རྡུལ་དང་ཚྭོ་ཞིག་རྡུལ་དང་བར་རྡུལ་བཅས་ཀྱི་ཁ་གྱངས་ལ་བཏེན་ནས་རེས་གཏན་ཟེད་ཀྱི་ཡོད། དེས་ན་ཚོད་ཀྱིས་གཡོག་ལས་མས་སྐོགས་རེས་རེད། ཙ་རྡོས་སོ་སོའི་དང་བཞིན་གང་ཡིན་ས་དེ་ནི་རང་ལ་ཡོད་བའི་རྡུལ་རྡོས་ཏེ།" ཅེས་དང་།

"དངོས་ཁཚས་རིག་ས་དང་། རྡོས་སྐྱོར་རིག་ས། སྐྱེ་དངོས་རིག་ས་ཀུན་གྱི་ནང་གཏན་ཚེས་བྱས་ཟེན་བའི་ཙ་ཁཌིན་ཞིག་ཅེ། ཚྭོག་ཁྲུར་ཚོ་དང་ཚྭོག་ཁྲུར་ཚོ་ཁན་ཆུ་ཅེན་རེས་ཟེད་ཀྱང་། ཚྭོག་ཁྲུར་རིག་ས་ཆུང་ཁན་ཆུ་ཅེན་ཁ་རྡས་ཁན་ཆུ་ཤུད་རེས་ཟེད་བ་དེ་རེད། འདི་ནི་གནས་སྐྱེས་ཁང་ཚོའི་ནོར་གནད་གལ་ཆེན་ཞིག་སྟེ། འདི་ཉིད་རྡུལ་ཟན་གྱི་གནས་སྐབས་ལ་སྐྱར་ན། ཉིང་རྡུལ་གྱི་ནང་དུ་འགོད་བའི་ཚོ་ཚྭོག་ཁྲུར་འཚང་བའི་སྐྱས་རྡུལ་དག་གིས་དེའི་མཐའ་འགོར་ལུ་འགོད་བའི་ཚོའི་ཚྭོག་ཁྲུར་འཚང་བའི་ཚྭོག་རྡུལ་རྡས་རང་ཚོགས་སུ་འཁེན་པར་ཟེས་རྡུལ་ཟན་གྱི་གོང་བུ་དེ་རོག་ཚོ་གཅིག་ཏུ་གཟུང་བར་ཟེད་ཀྱི་ཡོད། རྡུལ་ཟན་ཞིག་གིས་རང་གི་ཚྭོག་རྡུལ་རྡས་མཉམ་དུ་གཟུང་བའི་གྱིས་ལྟོད་ཀྱི་ཚྭོག་ཁྲུར་ཚོ་ཁན་ཆུ་ཅེན་ཁ་རྡས་ཁན་ཆུ་ཤུད་རེས་ཟེད་བ་དེ་རེད།" ཅེས་དང་།



དེའི་རིས། ༥ འདི་ངའི་རིས་ཀྱི་ལས་ནས་སྐྱེ་དངོས་གནས་ལུགས་དང་འབྲེལ་ཆེ་བའི་ཙ་རྡས་བཞིའ་བསྟན་ཡོད་ལ། དེ་དག་ངང་ནང་གི་(སྐུས་རྡུལ་དང་བར་རྡུལ་ཀྱི་ས་གྲབ་བའི་) ཉིང་རྡུལ་དང་། ཚྭོག་རྡུལ་སྐོགས་རིས་ནང་འགོད་བའི་ཚོའི་ཚྭོག་ཁྲུར་འཚང་བའི་ཚྭོག་རྡུལ་ཟན་གྱི་ཁྱོ་རྡས་ཀྱི་ཡོད།

"སྐྱིར་ན་ཚྭོག་རྡུལ་ཆ་རྡས་ཉིང་རྡུལ་ཀྱི་མཐའ་འགོར་ཀྱི་གཏོད་ལས་སྟོག་འཛིང་ཅ་ཅ་དག་ཆུང་ཀུ་ཐན་ཆུ་འགོ་བསྐྱོད་ཟེད་རྡུད། ང་ཚོས་བཏོད་ལས་དེའི་ཚབ་ཀུ་གོ་བའེ་བའི་ཆེད་སྐོར་ཐེག་ཅེད་སྐྱོད་ཀྱིས་མཚོན་ཡོད། དེ་ཡང་ཉིང་རྡུལ་དང་ཉེ་ཁོས་སུ་འགོད་བའི་ཆད་ངོས་ཀྱི་ཚྭོག་རྡུལ་སྐོགས་རེས་ཆས་འགོ་བཆུམས་ཀྱ་རེས་ཀྱིས་ཤྱི་ཆྱོགས་སུ་འགོད་བ་དག་ལ་ཚྭོག་རྡུལ་དག་གིས་ཁེངས་ཆས་ཡོད་བ་རེད། ཁྱོད་ཀྱིས་འཚེས་ལྟོས་དང་། ཉིང་རྡུལ་དང་ཉེ་ཁོས་སུ་འགོད་བའི་སྐོགས་རེས་དེས་ཚྭོག་རྡུལ་ཀྱིས་ཙ་ཚན་གཞིས་ཀྱིས་ཚྭོག་རྡུལ་བཆུད་བར་གཟུང་ཀུས།(དཔེ་རིས། ༩) འགོད་ཆུང་རེ་ཤུ་མིག་གས་ལ་བའི་དེའེ་རིས་ ༣ བའི་ཆང་ཀུ་མཚོན་ཏུགས་ཀྱིས་འོགས་སུ་བཀར་བའི་ཙ་རྡས་ཀེ། སྐྱེ་ལྟན་གསོན་ཡོའི་རེགས་ལ་ཆུན་ལྟན་ཀུ་ཚང་བའི་ཙ་རྡས་(ཡང་ཆུང་ཁར་སྟོན། ནཡེ་ཏྲོ་ཇེན། སྟོག་འཇིན་ཆུང་། བུལ་རྡས། དཀར་གཡའ། ཁོད་ཀྱི་ས་མ། སུ་ཟེ་དང་། ཚ་ཆུང་)རྡམས་ལ་ཕྱི་སྐོར་ཀྱི་ཚྭོག་རྡུལ་སྐོགས་རེས་དེ་ཚོ་ཚ་ཚང་ཁེངས་མེད་པ་རེད། ཕྱི་སྐོར་ཀྱི་སྐོགས་རེས་འཇི་ལ་ཟེན་བའི་སྐོགས་རེས་ཟེར་ཞིད། ཚེ་སྟོག་གི་ཙ་རྡས་འཇི་དག་གི་ཟེན་བའི་སྐོགས་རེས་དེ་རྡམས་ས་ཁེངས་ཆས་ལུས་ས་དེ་སྟེས་དབང་གིས་བྱུང་བ་ཞིག་མིན།" ཞེས་གསལ་ཡོད།

Some atoms are more susceptible than others to losing or gaining electrons in their valence shells. Look at the table of elements in Figure 3. Which atoms do you think are most likely to lose electrons? Which atoms are most likely to gain them? To get started, look carefully at two atoms that have important roles in neurotransmision, sodium (Na) and chlorine (Cl). How do you think their valence electrons are most likely to interact with other atoms in their environment? Sodium only has one electron in a valence shell that is most stable if it has eight electrons, thus, it will easily give up that electron. When sodium loses an electron, it loses a negative charge and, therefore, becomes more positive; it is now known as a sodium ion (Na+). Note that "losing" an electron means that the electron moves: recall that electricity is defined as the movement of charged particles, such as electrons. Potassium (K), like sodium, often exists as a positive ion (K+). Now look carefully at chlorine; chlorine already has seven electrons in its valence shell, so it only needs one more to be stable. So, each chlorine atom tends to add an electron, making it more negative. It becomes a chloride ion (Cl-). It is perhaps hard to comprehend that all of our behaviors – in the scenario above, a pleasant walk and helping a little boy find his parents – are associated with ions and charges and atoms. However, as we shall see, without the action of ionically charged particles, none of the rest is possible!

Electrically charged atoms (ions) like Na+, K+, and Cl- create charge in biological systems. We measure charge in terms of voltage. The number of volts measures the difference in charge between two locations. When this charge moves in a system, it is called an electrical current, and the structures within which the current flows (neurons, in this case) are called conductors.

The medium in which current flows in neurons and all biological systems is primarily made up of water. And so, another piece of the chemical story of electrical charge we should understand is the unique chemical structure of water. We also discuss this in *LSP II: Genes and Cells*. Recall from that primer that each molecule of water is composed of two hydrogen atoms and one oxygen atom and that, due to the extreme electronegativity (attraction for electrons) of oxygen, each molecule of water has two 'partial' positive charges and one partial negative charge (Figure 5). These partial charges give water many unique properties. In terms of our discussion of electrical charge, water being both negative and positive allows ions (and their charges) to dissolve in it, so that we now have a medium for moving charge and creating current.

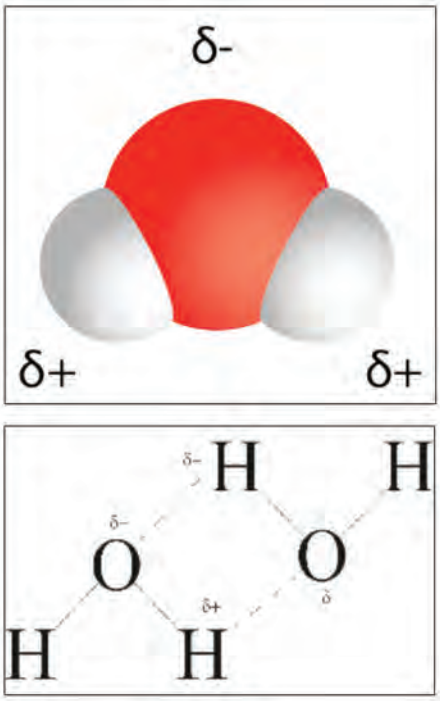
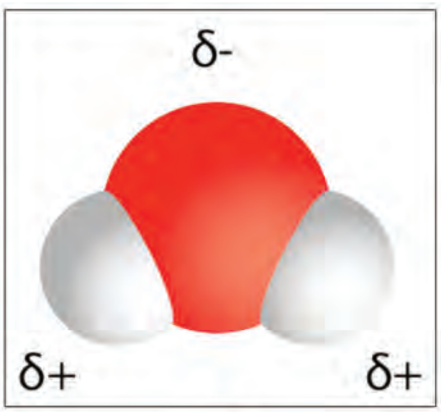
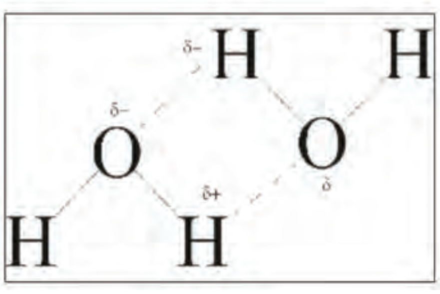


Figure 5: A molecule of water is composed of two hydrogen atoms and one oxygen atom (H2O). Water molecules exhibit interesting properties due to their chemical structure.

རང་རང་གི་ཕྱིན་པའི་སྐོགས་རིམ་ཁྲོད་ནས་གློག་རྡུལ་བོར་བའམ་འཐོབ་ལུགས་ཀྱི་གནས་བབ་ཐད་རྡུལ་ཕྲན་པན་ཚུན་མི་མཚུངས་ཤིང་། རྡུལ་ཕྲན་འགའ་རེ་གཞན་ལ་ལྟོས་ཏེ་བོར་ཐོབ་ཀྱི་སྐྱེན་ཡང་བ་ཡོད། དཔེ་རིས་ ༣ ནང་གི་འཁོར་རྒྱུན་རེའུ་མིག་ལ་ལྟོས་ལ། ཁྱོད་ལྟར་ན་རྡུལ་ཕྲན་དེ་དག་ལས་གང་ཞིག་གི་གློག་རྡུལ་བོར་ཉེན་ཆེ་བ་དང་། གང་ཞིག་ལ་གློག་རྡུལ་འཐོབ་རེ་ཆེ་བ་འདུག་གམ། རྟོག་ཞིབ་ལ་མ་ཞུགས་གོང་དེར་ཁྱོད་ཀྱིས་སྦུལ་རྫས་(Na)དང་ཚྭ་རླུང་(Cl)སྟེ། དབང་ཆ་འཕྲིན་གཏོང་གི་བྱེད་རིམ་ནང་ཤུགས་རྐྱེན་ཆེ་བའི་རྡུལ་ཕྲན་གཉིས་པོ་དེར་ཞིབ་ལྟ་ཞིག་བྱོས་དང་། ཁྱོད་ལྟར་ན་རྡུལ་ཕྲན་དེ་དག་གི་ཁོར་ཡུག་ཁྲོད་དེ་དག་སོ་སོའི་ཕྱིན་པའི་གློག་རྡུལ་རྣམས་རྡུལ་ཕྲན་གཞན་དང་སྦྲེལ་སྦྱོར་ཇི་ལྟར་བྱེད་བཞིན་འདུག་གམ། སྦུལ་རྫས་ལ་རང་གི་ཕྱིན་པའི་སྐོགས་རིམ་ཁྲོད་གློག་རྡུལ་གཅིག་ལས་མེད་ཀྱང་། དེར་གློག་རྡུལ་བརྒྱད་ཚང་བ་ཁོ་ནས་རང་གི་དང་ཚུལ་ཆེས་བརྟན་པར་བྱས་པ་ཡིན་པས། དེས་རང་གི་གློག་རྡུལ་གཅིག་པུ་དེ་ཉིད་དཀའ་ཚེགས་མེད་པར་བོར་དུ་འཇུག་ངེས་ཡིན། སྦུལ་རྫས་ཀྱི་གློག་རྡུལ་གཅིག་པུ་དེ་བོར་ཆེ་དེའི་མོའི་གློག་ཁུར་ཞིག་སྟོར་འགྲོ་བས་དེ་ཉིད་ཕོའི་གློག་ཁུར་ཅན་དུ་འགྱུར་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ད་གཟོད་དེ་ཉིད་ཕོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་སྦུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་(Na+)ཞིག་ཏུ་འགྱུར་བ་རེད། འདིར་ཡིད་ལ་ངེས་དགོས་པ་ཞིག་ནི། གློག་རྡུལ་ཞིག་བོར་བརླག་ཤོར་བའི་གོ་དོན་ནི་གློག་རྡུལ་དེ་སྤོ་སྐྱོད་བྱེད་པ་དེ་ཡིན་ལ། གློག་གི་ངེས་ཚིག་བཤད་པའི་སྐབས་སུའང་གློག་རྡུལ་ལྟ་བུའི་ཁུར་ཅན་གྱི་རྡུལ་རྫས་སྤོ་སྐྱོད་ཀྱི་ཆ་ནས་བཤད་པ་འདིར་དྲན་དགོས། སྦུལ་རྫས་(Na)དང་འདྲ་བར་དུག་སེལ་དཀར་པོ་(K)ཡང་གནས་སྐབས་ཕལ་ཆེ་བར་ཕོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་(K+)གྱི་ངོ་བོར་གནས་པ་རེད། ད་ངེས་ཚྭ་རླུང་ལ་ཞིབ་ལྟ་ཞིག་བྱ། ཚྭ་རླུང་ལ་རང་གི་ཕྱིན་པའི་སྐོགས་རིམ་ཁྲོད་ཐོག་མ་ཉིད་ནས་གློག་རྡུལ་བདུན་ཚང་བས། དེ་ཉིད་བརྟན་པོར་གྱུར་པར་གློག་རྡུལ་ཐོབ་པ་གཅིག་ཙམ་མཁོ་བ་རེད། དེས་ན་ཚྭ་རླུང་གི་རྡུལ་ཕྲན་རེ་རེས་གློག་རྡུལ་ཐོབ་པ་རེ་བསྒུག་ཏེ་རང་ཉིད་མོའི་གློག་ཁུར་ཤས་ཆེ་བར་འགྲུབ་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་དེ་ཉིད་མོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་ཚྭ་རླུང་གྲེས་རྡུལ་(Cl-)ཞིག་ཏུ་གྲུབ་པར་བྱེད། གོང་གི་ང་ཚོའི་མཚམས་སྦྱོར་བྱུང་བ་དེ་དང་འབྲེལ་བའི་ང་ཚོའི་གཞིས་སྒྲོད་དེ། གོམ་ཁ་སྐྱིད་པོ་དེ་དང་བྱིས་པ་ཆུང་དུའི་ཕ་མ་འཚོལ་བར་ཞུགས་པའི་བྱ་གཞག་དེ་ཀུན་གྲེས་རྡུལ་དང་། གློག་ཁུར་དང་། རྡུལ་ཕྲན་བཅས་ལ་འབྲེལ་བ་བཏགས་པའི་བཤད་པ་འདི་དེ་ཙམ་རྟོགས་སླ་བ་ཞིག་མིན། དེ་ལྟ་ནའང་། གྲེས་རྡུལ་སྤྲེལ་བའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་རྡུལ་རྫས་ཀྱི་བྱ་གཞག་ལ་མ་བརྟེན་པར་གོང་གསལ་འདི་ཀུན་མི་སྲིད་པར་ང་ཚོས་ག་ཤམ་ནས་ཤེས་རྒྱུ་རེད།





དཔེ་རིས། ༥ ཆུའི་འདུས་རྡུལ་གཅིག་ནི་ཡང་རླུང་གི་རྡུལ་ཕྲན་གཉིས་དང་འཚོ་རླུང་གི་རྡུལ་ཕྲན་གཅིག་བཅས་ཀྱིས་གྲུབ་པ་རེད། ཆུའི་འདུས་རྡུལ་དག་གི་རྫས་འགྱུར་བཀོད་པ་གྲུབ་ལུགས་ལ་བརྟེན་ནས་འདུས་རྡུལ་དེ་དག་ལ་ང་ཚོའི་ངོ་སྣང་འགྱུག་པའི་ཁྱད་གཤིས་དེ་འདྲ་ཡོད།

སྦུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་(Na+)དང་། དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་(K+)དང་། ཚྭ་རླུང་གྲེས་རྡུལ་(Cl-)འདྲ་བའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་རྡུལ་ཕྲན་(གྲེས་རྡུལ་)རིགས་ཀྱིས་སྐྱེ་དངོས་མ་ལག་ཁྲོད་དུ་གློག་ཁུར་བསྐྲུན་གྱི་ཡོད། གློག་ཁུར་དེ་ང་ཚོས་ཡོལ་ཚད་ཀྱི་ལམ་ནས་ཚད་གཞལ་ལ། ཡོལ་གྱི་གྲངས་ཚད་ཀྱིས་ཡུལ་གྱི་གོ་ས་གཉིས་དབར་གློག་ཁུར་གྱི་ཁྱད་པར་གང་ཡོད་པ་དེ་འཇལ་གྱི་ཡོད། མ་ལག་ཅིག་གི་ཁྲོན་དུ་གློག་ཁུར་དེ་འདྲ་རྒྱུ་བའི་ཚེ་དེར་གློག་རྒྱུན་ཞེས་སུ་འབོད་ལ། གང་ཞིག་གི་ཁོང་དུ་གློག་རྒྱུན་རྒྱུ་བའི་ཆགས་དབྱིབས་ཀྱི་བཀོད་པ་(སྐབས་འདིར་མཚོན་ན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ལྟ་བུ་)དེ་དག་ལ་འདྲེན་ཆས་ཞེས་སུ་འབོད་པ་རེད།

དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དང་སྐྱེ་དངོས་མ་ལག་ཐམས་ཅད་ཀྱི་ཁོག་ནང་དུ་གློག་རྒྱུན་རྒྱུ་སའི་བརྒྱུད་ལམ་དེ་གཙོ་བོར་ཆུ་ཡིས་གྲུབ་པས། ང་ཚོས་ཤེས་དགོས་པའི་གློག་ཁུར་དང་འབྲེལ་བའི་རྫས་འགྱུར་གྱི་བཤད་པའི་ཆ་ཤས་གཞན་ཞིག་ནི་ཆུ་ལ་ཚང་བའི་ཐུན་མོང་མིན་པའི་རྫས་འགྱུར་གྱི་ཆགས་བཀོད་དེ་ཡིན། འདི་ང་ཚོས་"རིགས་རྫས་དང་ཕྲ་ཕུང་"མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཆེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པའི་ནང་གྲོས་སྡུར་བྱས་ཟིན། སློབ་དེབ་དེར་གསལ་བའི་བཤད་པའི་ཁྲོད་དུ་ཆུ་ཡི་འདུས་རྡུལ་རེ་རེ་ནས་ཡང་རླུང་གི་རྡུལ་ཕྲན་གཉིས་དང་སྲོག་འཛིན་རླུང་གི་རྡུལ་ཕྲན་གཅིག་བཅས་ཀྱིས་གྲུབ་ཚུལ་དང་། སྲོག་འཛིན་རླུང་ལ་ཡོད་པའི་གློག་གི་མོ་གཤིས་(ཏེ་གློག་རྡུལ་ལ་དམིགས་པའི་འཐེན་གཤིས་)ཏ་ཅང་ཤས་ཆེ་བའི་དབང་གིས་ཆུའི་འདུས་རྡུལ་རེར་ཕོའི་གློག་ཁུར་ཉི་ཆེ་བ་གཉིས་དང་མོའི་གློག་ཁུར་ཉི་ཆེ་བ་གཅིག་ཡོད་པར་བསྟན་པ་རྣམས་འདིར་དྲན་གསོ་བྱེད་དགོས་(དཔེ་རིས། ༥)། ཉི་ཆེ་བའི་(གློག་)ཁུར་འདི་དག་གིས་ཆུ་ལ་ཚང་བའི་ཐུན་མོང་མིན་པའི་ཡོན་ཏན་མང་པོ་བསྐྲུན་གྱི་ཡོད། གློག་ཁུར་དང་འབྲེལ་བའི་ང་ཚོའི་གྲོས་སྡུར་གྱི་ཆ་ནས་བཤད་ན། ཆུ་ལ་ཕོ་མོའི་གློག་ཁུར་གཉིས་ཀ་ཚང་བའི་དབང་གིས་དེར་གྲེས་རྡུལ་གྱི་རིགས་(དང་དེ་དག་གི་ཁུར་)རྣམས་བཞུ་བར་བྱེད་ནུས་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ད་ཆ་ང་ཚོར་(གློག་)ཁུར་སྤོ་སྐྱོད་དང་གློག་རྒྱུན་བཟོ་སྐྲུན་གྱི་བརྒྱུད་ལམ་ཞིག་གྲུབ་ཡོད།

Neurons have evolved as cells that serve as information carriers for the nervous system, and current is a big part of the way they communicate. Information is passed through neurons because of changes in the amount and location of charge. On the one hand, two different biochemical states are possible: current and no current. On the other hand, the quantity of current enriches the complexity of the information being sent.

Neurons and their surrounding environments are full of dissolved ions. How do you think neurons might be able to control the location of these ions and thus use them to create and send information? The answer to this question has two main parts.

First, from our discussion of the function of cell membranes in *LSP II: Genes and Cells*, we learn about the importance of the membrane that surrounds the whole cell and the many membranes surrounding organelles within the cells. These membranes provide a separation of the cell or its organelles from the surrounding environment, which allows for careful regulation of what enters and leaves the cells or organelles.

Second, remember that chemicals move in and out of cells in diverse ways: small uncharged molecules diffuse through membranes, but most molecules—larger or charged ones—only move through membranes via specific protein receptors, channels, or pumps (Figure 6). The structure of these proteins has evolved exquisitely to fit their function.

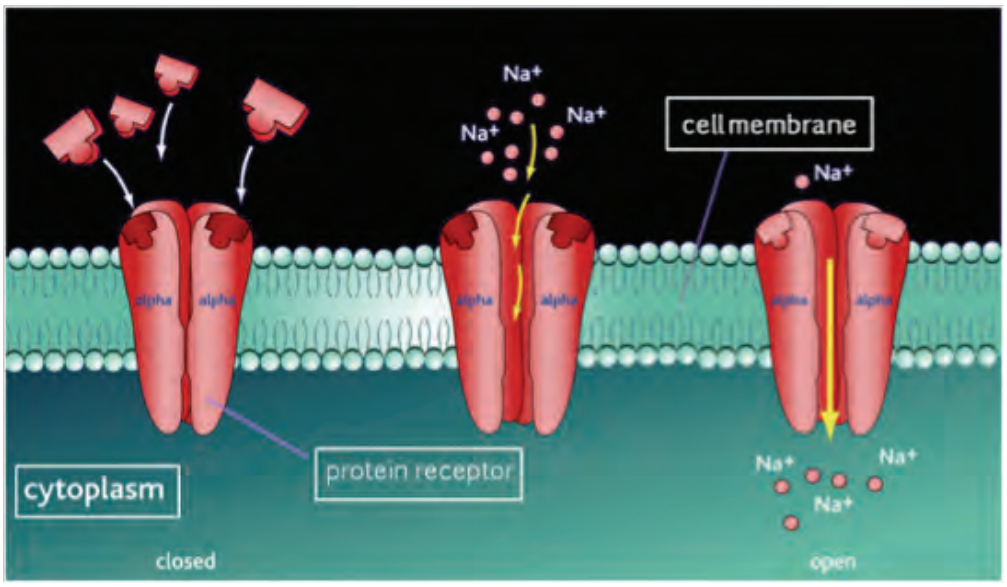


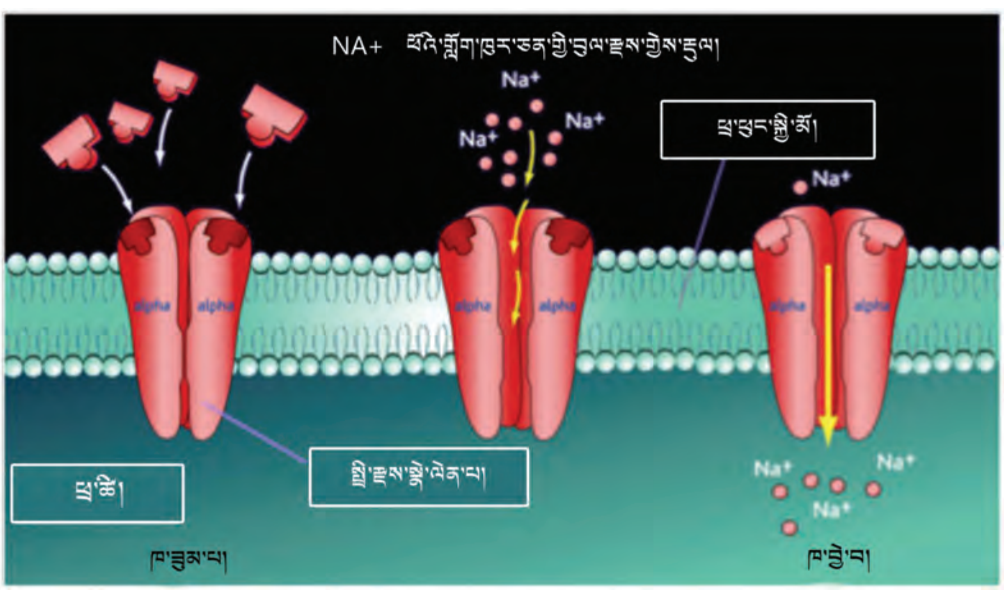
Figure 6: Specific molicules in the environment bind to the protein receptor in the cell membrane and change the shape of the receptor, allowing sodium ions to pass into the cell.

དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་དབང་རྩ་མ་ལག་གི་ཆེད་དུ་ཆ་འཕྲིན་འཁུར་མཁན་གྱི་ཕྲ་ཕུང་གི་ཚུལ་དུ་འཕེལ་འགྱུར་བྱུང་ཡོད་ལ། དེ་དག་གིས་ཕན་ཚུན་བར་འཕྲིན་གཏོང་ལེན་བྱེད་པའི་རྒྱུད་རིམ་ནང་གློག་རྒྱུན་གྱིས་བྱེད་ནུས་ཆེན་པོ་འདོན་གྱི་ཡོད། དེ་ཡང་(གློག་)ཁུར་གྱི་འབོར་ཚད་དང་འཁོད་ཡུལ་ལ་འགྱུར་བ་ཕྱིན་པའི་སྒོ་ནས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་བརྒྱུད་ནས་ཆ་འཕྲིན་དབོར་འདྲེན་བྱེད་པ་རེད། དེ་ཇི་ལྟར་འབྱུང་དམ་ཞེ་ན། ཕྱོགས་གཅིག་ཏུ་སྐྱེ་ལྡན་རྫས་སྦྱོར་གྱི་གནས་སྟངས་མི་འདྲ་བ་གཉིས་ཏེ། གློག་རྒྱུན་ཡོད་པ་དང་མེད་པའི་གནས་སྟངས་འབྱུང་སྲིད་པ་དེས་ཡིན་ལ། ཡང་ཕྱོགས་གཞན་དུ་ནི་འདྲེན་གཏོང་བྱ་རྒྱུའི་ཆ་འཕྲིན་གྱི་རྟོག་འཛིང་གནས་བབ་དེ་གློག་རྒྱུན་གྱི་འབོར་ཚད་ཀྱིས་མཚོན་འདེགས་གཏོང་གི་ཡོད་པ་དེས་ཀྱང་ཡིན།

དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དང་དེ་དག་གི་མཐའ་མཚམས་ཁོར་ཡུག་རྣམས་ལ་བཞུས་ཐེན་པའི་གྲེས་རྡུལ་དག་གིས་ཁེངས་ནས་ཡོད་པ་རེད། ཁྱོད་ལྟར་ན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གིས་གྲེས་རྡུལ་འདི་རྣམས་ཀྱི་འཁོད་ཡུལ་ཚོད་འཛིན་བྱེད་ཚུལ་ཇི་ལྟར་ཡིན་ནམ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་དེ་དག་གིས་ཆ་འཕྲིན་བསྐྱུན་ཚུལ་དང་འདྲེན་གཏོང་བྱེད་ཚུལ་ཇི་ལྟར་ཡིན་ནམ། འདྲི་བ་འདིར་གདབ་རྒྱུའི་ལན་ལ་ཆ་ཤས་གཙོ་བོ་གཉིས་ཡོད།

དང་པོ། 'རིགས་རྫས་དང་ཕྲ་ཕུང་'མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཆེ་སྟོག་ཚན་རིག་གི་སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པའི་ནང་ཕྲ་ཕུང་སྐྱི་མོའི་བྱེད་ལས་སྐོར་ང་ཚོས་གྲོས་སྡུར་བྱས་པ་བརྒྱུད་ཕྲ་ཕུང་ཚང་པོ་ཞིག་གི་མཐའ་འཁོར་དུ་བསྐོར་བའི་སྐྱི་པགས་དང་། ཡང་ཕྲ་ཕུང་ཁོག་ནང་གི་དབང་ཕྲ་སོ་སོའི་མཐའ་འཁོར་དུ་བསྐོར་བའི་སྐྱི་པགས་བཅས་ཀྱི་གལ་གནད་སྐོར་ང་ཚོས་སྦྱངས་ཡོད་ལ། སྐྱི་པགས་འདི་དག་གིས་ཕྲ་ཕུང་ཁེར་རྐྱང་སོ་སོ་བ་དང་། ཡང་ན་དབང་ཕྲ་སོ་སོ་བ་རྣམས་རང་རང་གི་མཐའ་འཁོར་གྱི་ཁོར་ཡུག་དག་ལས་སོ་སོར་དབྱེ་འབྱེད་བྱེད་པ་རེད། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ཕྲ་ཕུང་དང་དབང་ཕྲ་དེ་དག་ལ་གང་ཞིག་སིམ་ཞིང་། དེ་དག་ལས་གང་ཞིག་འཐོན་པའི་དངོས་རྫས་སྙེང་སྟངས་འཛིན་དམ་པོ་བྱེད་པར་རམ་འདེགས་འཐོབ་ཀྱི་ཡོད།

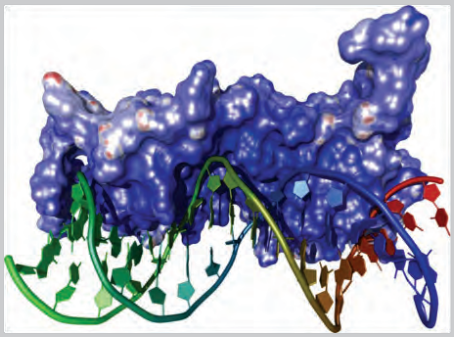
གཉིས་པ། སྤྱིར་ན་རྫས་འགྱུར་གྱི་དངོས་པོ་རྣམས་ཕྲ་ཕུང་གི་ཕྱི་ནང་དུ་འཐོན་འཛུག་བྱེད་ཚུལ་སྣ་ཚོགས་ཡོད་པ་འདིར་དྲན་དགོས། དེ་ཡང་(གློག་)ཁུར་མེད་པའི་འདུས་རྡུལ་ཕྲ་མོ་རྣམས་སྐྱི་པགས་བརྒྱུད་དུ་ཁྱབ་འགྲེད་བྱེད་ལ། འོན་ཀྱང་འདུས་རྡུལ་ཕལ་ཆེ་བ་སྟེ། བོངས་ཚད་ཆེ་བའམ་ཡང་ན་(གློག་)ཁུར་ཅན་རྣམས་ནི་སྤྲི་རྫས་སྣེ་ལེན་པའམ། རྒྱ་ལམ་མམ། ཡང་ན། འབུད་པ་ངེས་བཟུང་དེ་འདྲ་བརྒྱུད་ནས་སྐྱི་པགས་བརྒལ་ཏེ་རྒྱུ་བ་རེད།(དཔེ་རིས། ༦) སྤྲི་རྫས་འདི་དག་ཀྱང་མཚོར་ཉམས་དོད་པོའི་སྒོ་ནས་སོ་སོའི་བྱེད་ལས་ལ་འཕྲོད་པའི་འཕེལ་འགྱུར་ཕྱིན་ཡོད།



དཔེ་རིས། ༦ ཁོར་ཡུག་ནང་གི་འདུས་རྡུལ་དམིགས་བཀར་བའི་རིགས་ཀྱིས་ཕྲ་ཕུང་སྐྱི་མོའི་ཁྲོད་ཀྱི་སྤྲི་རྫས་སྣེ་ལེན་པར་འཆིང་སྦྱོར་བྱས་ཏེ་སྣེ་ལེན་པ་དེའི་བཀོད་དབྱིབས་ལ་འགྱུར་བ་གཏོང་ལ། དེས་བུལ་རྫས་ཀྱི་གྲེས་རྡུལ་དེ་འདྲ་ཕྲ་ཕུང་གི་ཁོག་པར་ཞུགས་སུ་འཇུག་གི་ཡོད།

Like all proteins, these receptors, channels and pumps are encoded by genes in the nuclei of cells. The genes (made of DNA) are transcribed into RNA, and then translated into proteins that are woven into the specific membrane in question. Once in the membrane, these proteins respond to different environmental cues to pass messages or prevent the passing of messages into or out of the cell. The proteins' interaction with the environmental cues changes the shape of the proteins, which in turn alters their function. This change in shape and function is usually transitory—it is reversed quickly—but not before the message has been sent across the membrane. As we learned in *LSP II: Genes and Cells*, environmental cues and the function and shape of proteins vary depending on the kind of message being sent. For example, photons (light) interact with membrane proteins in the eye, hormones or other molecules bind to membranes in many organ systems' cells (including during the chemical part of neurotransmission, as we'll see below), temperature or pressure influence membrane proteins, and electrical charge (ions) affect the membrane proteins' shape so that they regulate specific ion transport across neuron membranes.

Box 1. IN-DEPTH: THE EVOLUTION OF PROTEIN RECEPTORS

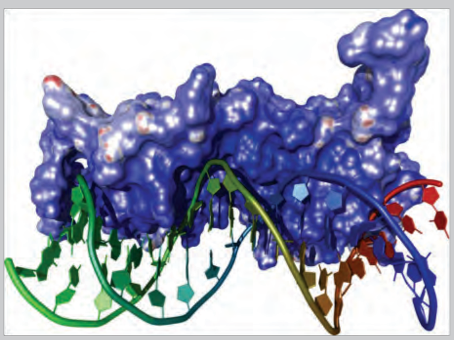


Visualization of a glucocorticoid receptor binding to DNA. In this way, it modifies the activity of the DNA and influences the amount of protein that is made.

Hormones bind to a specific receptor with the specificity and affinity that could only arise through natural selection. Importantly, it is becoming clear that slight modifications – even individual mutations – can result in meaningful changes in the protein structure of a given receptor. And these changes in protein structure can have profound effects on the function of the cell and thus, on the organism. Take, for example, the glucocorticoid receptor (GR), which is activated by cortisol, a hormone important for the stress response that we will discuss more in primers 3 and 4. There is a related protein receptor called the mineralocorticoid receptor (MR), which is primarily activated by the hormone aldosterone, but is also weakly activated by cortisol. Both GR and MR act as transcriptional factors by binding to DNA and either increasing or decreasing expression of proteins. Scientists have recently traced the lineage of these two related receptors and found that a total of 7 mutations, in combination, give GR its specific affinity to cortisol. By following related genes through a "gene family tree", scientists identified the point approximately 400 million years ago that these two receptors diverged from a single receptor gene. They have also been able to recreate the protein structure for each successive evolutionary change. By doing this, they have determined that two of the mutations had a major effect in switching the receptor's preference from aldosterone to cortisol simply by changing the physical shape of the receptor. Three of the other seven mutations during the same period shifted the affinity of the receptor for cortisol.

སྤྲི་རྫས་ཀུན་དང་འདྲ་བར་སྣེ་ལེན་པ་དང་། རྒྱུ་ལམ་དང་། འབྱུང་བ་འདི་དག་ཀུང་ཕྲ་ཕུང་སོ་སོའི་ལྟེ་ཉིང་གི་ཁོག་ནང་དུ་རིགས་རྫས་ཀྱིས་བརྡ་སྤྲིག་བྱས་ནས་ཡོད་ཅིང་། (ཊི་ཨེན་ཨེ་ཡིས་གྲུབ་པའི་)རིགས་རྫས་འདི་དག་དཀྱིལ་སྒྲོད་ཨར་ཨེན་ཨེའི་ངོ་བོར་བབ་ལེན་བྱས་པར་འགྱུར་ལ། དེ་ནས་དེ་དག་སྤྲི་རྫས་ཀྱི་ངོ་བོར་བབ་སྒྱུར་ཐེབས་ཏེ་སྐབས་འབྲེལ་གྱི་སྐྱེ་པགས་རེས་བཟུང་ཅན་དག་ཏུ་བཏགས་ཤིང་འགྲམས་པར་འགྱུར་བ་རེད། དེའི་ཚུལ་གྱིས་སྐྱེ་པགས་ཁྲོད་ལན་གཅིག་བཏགས་ཅན་སྤྲི་རྫས་འདི་དག་གིས་ཁོར་ཡུག་ནས་ཐོབ་པའི་བརྡ་སྟོན་མི་འདྲ་བ་ལ་གཞིགས་ཏེ་ཕྲ་ཕུང་ལ་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་བར་སྒྲུབ་ཐོགས་ཀྱི་ཡ་ལན་སྤྲོད་པའམ། ཡང་ན། ཕྲ་ཕུང་གི་ཁོག་ནང་དུ་བརྡ་འཕྲིན་ཞུགས་པར་རམ། ཡང་ན་དེའི་ཕྱི་ཕྱོགས་སུ་བརྡ་འཕྲིན་འཐོན་པར་དགག་ཕྱོགས་ཀྱི་ཡ་ལན་སྤྲོད་ཀྱི་ཡོད། ཁོར་ཡུག་ནས་ཐོབ་པའི་བརྡ་སྟོན་དང་སྤྲི་རྫས་དག་གི་དབང་སྒྲིལ་སྒྱུར་འགྲུབ་པ་འདིས་སྤྲི་རྫས་ཀྱི་བཀོད་དབྱིབས་ལ་འགྱུར་བ་གཏོང་ལ། དེས་དེ་དག་གི་བྱེད་ལས་ལ་འགྱུར་བ་གཏོང་བ་རེད། སྤྲི་རན་བཀོད་དབྱིབས་དང་བྱེད་ལས་ལ་ཐེབས་པའི་འགྱུར་བ་འདི་བརྟན་ཆགས་པ་ཞིག་མིན་ཏེ། འདི་ཉིད་རིང་པོར་མ་ལོན་པར་ཕྱིར་ལྡོག་པར་འགྱུར་བའི་ཕྱིར། དེ་ལྟར་ནའང་བརྡ་འཕྲིན་དེ་སྐྱེ་པགས་ཁྲོད་དུ་འགྲིམས་གཏོང་མ་བྱས་གོང་དུ་ཕྱིར་ལྡོག་མི་བྱེད། ང་ཚོས་"རིགས་རྫས་དང་ཕྲ་ཕུང་"མིང་བྱུང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པའི་ནང་ཕྱར་སྤྱངས་པ་བཞིན། འདྲེན་གཏོང་བྱ་རྒྱུའི་བརྡ་འཕྲིན་གྱི་རང་བཞིན་ལ་ལྟོས་ཏེ་ཁོར་ཡུག་གི་བརྡ་སྟོན་དང་སྤྲི་རྫས་ཀྱི་བྱེད་ལས་དང་ཆགས་བཀོད་བཅས་པ་སྐབས་སོ་སོར་མི་འདྲ་བ་འབྱུང་བ་རེད། དེ་ཡང་དཔེར་ན། འོད་རྡུལ་(འོད་)དག་གིས་མིག་ནང་གི་སྐྱི་པགས་སྤྲི་རྫས་དང་སྦྲེལ་སྦྱོར་བྱེད་པ་དང་། སྨན་རྫས་སམ། ཡང་ན། འདུས་རྡུལ་གཞན་གྱིས་ནི་(ང་ཚོས་གཤམ་དུ་མཐོང་རྒྱུ་བཞིན། དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་རིམ་གྱི་རྫས་འགྱུར་དུས་རིམ་སྐབས་ལྟར་)དབང་པོའི་མ་ལག་མང་པོའི་ཕྲ་ཕུང་ནང་གི་སྐྱི་པགས་ལ་འཆིང་སྦྱོམ་བྱེད་ལ། ཚ་དྲོད་དམ་གནོན་ཤུགས་ཀྱིས་སྐྱི་པགས་སྤྲི་རྫས་སྟེང་དུ་བྱེད་ནུས་འདོན་པ་དང་། ཡང་(གྲེས་རྡུལ་རྣམ་པའི་)གློག་ཁུར་གྱིས་སྐྱི་པགས་སྤྲི་རྫས་དག་གི་བཀོད་དབྱིབས་ལ་ཤུགས་རྐྱེན་བཟོས་པ་ལ་བརྟེན་ནས་དེས་དབང་རྩའི་སྐྱི་པགས་ཁྲོད་དུ་གྲེས་རྡུལ་བྱེ་བྲག་པའི་དབོར་འདྲེན་བྱ་བ་ལ་སྔངས་འཛིན་བྱེད་པ་ལྟ་བུ་ཡིན།

སྒྲོམ་བུ་དང་པོ། གཉིད་ཚུགས་པའི་ལྟ་ཞིབ། སྤྲི་རྫས་སྣེ་ལེན་པ་རྣམས་ཇི་ལྟར་འཕེལ་འགྱུར་བྱུང་ཚུལ།

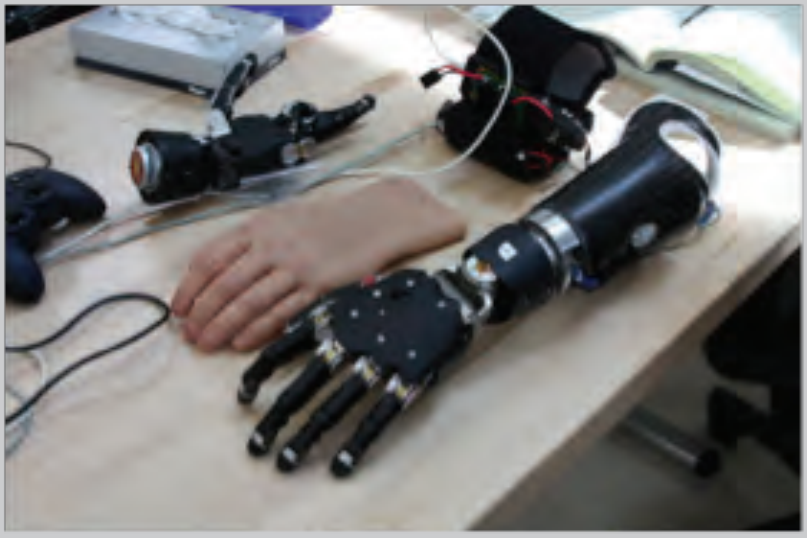


སྒྲུ་ལུ་ཁོ་ཁོར་ཊེ་ཁོ་ཡི་ཊི་སྣེ་ལེན་པས་ཊི་ཨེན་ཨེ་ལ་འཆིང་སྦྱོམ་ཇི་ལྟར་བྱེད་ཚུལ་མཚོན་པའི་བློས་བསྐྲུན་རྣམ་པ་ཞིག ཚུལ་འདི་ལྟར་དུ་དེས་ཊི་ཨེན་ཨེའི་བྱ་གཞག་ལ་བཅོས་འགྱུར་གཏོང་བ་དང་། གང་བཟོ་རྒྱུའི་སྤྲི་རྫས་ཀྱི་གྲངས་འབོར་ལ་ཤུགས་རྐྱེན་བཟོ་བ་རེད།

སྨན་རྫས་དག་གིས་སྣེ་ལེན་པ་ངེས་བཟུང་རེ་ལ་དམིགས་བཀར་ཆེ་ལ་མཐུད་འཕྲོད་བརྟན་པོའི་སྒོ་ནས་འཆིང་སྦྱོམ་བྱེད་པ་དེ་ནི་རང་བྱུང་འདེམས་སྒྲུག་ཁོ་ནའི་ལམ་ནས་ཡོང་སྲིད་པ་ཞིག་ཡིན། གལ་ཆེ་བ་ཞིག་ལ། ཆ་ཁྱུལ་ངེས་ཅན་དག་ལ་ཐེབས་པའི་རྒྱུན་ལྡན་མིན་པའི་འགྱུར་ལྡོག་ཐེ་བའི་བཅོས་འགྱུར་ཐྲན་ཚོགས་རིགས་ཀྱིས་ཀྱང་སྣེ་ལེན་པ་བྱེ་བྲག་ཅིག་གི་སྤྲི་རྫས་བཀོད་དབྱིབས་ལ་དོན་སྙིང་ལྡན་པའི་འགྱུར་ལྡོག་བསྐྱེད་ཐུབ་པ་དེང་གི་ཆར་གསལ་པོ་ཤེས་བཞིན་ཡོད། སྤྲི་རྫས་ཀྱི་བཀོད་དབྱིབས་ལ་ཐོག་པའི་འགྱུར་ལྡོག་འདི་དག་གིས་ཕྲ་ཕུང་དང་། དེ་བརྒྱུད་ནས་སྐྱེ་ལྡན་སྲོག་ཆགས་དེའི་བྱེད་ལས་སྟེང་དུ་ཤུགས་རྐྱེན་ཆེན་པོ་བཟོ་ཐུབ། འདིར་དཔེ་མཚོན་གྱི་ཚུལ་དུ་སྒྲུ་ལུ་ཁོ་ཁོར་ཊེ་ཁོ་ཡི་ཊི་སྣེ་ལེན་པ་(ཛི་ཨར་)བཟུང་ན་ཆོག འདི་ནི་སེམས་ངལ་ཡ་ལན་ལ་གནད་ཆེ་བའི་སྨན་རྫས་ཁོར་ཊི་སོལ་ཞེས་པ་དེས་སད་སློང་བྱེད་པའི་སྣེ་ལེན་པ་ཞིག་ཡིན་ཞིང་། འདི་སྐོར་རྒྱས་པར་ང་ཚོས་སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གསུམ་པ་དང་བཞི་པར་གྲོས་སྡུར་བྱ་རྒྱུ་ཡིན། དེ་དང་འབྲེལ་བའི་སྤྲི་རྫས་སྣེ་ལེན་པ་མི་ལི་ར་ལོ་ཁོར་ཊེ་ཁོ་ཡི་ཊི་སྣེ་ལེན་པ་(ཨེམ་ཨར་)ཟེར་བ་ཞིག་ཀྱང་ཡོད་ལ། དེ་ནི་གཙོ་ཆེར་ཨལ་ཌོ་སི་ཊེ་རོན་སྨན་རྫས་ཀྱིས་སད་སློང་བྱེད་ལ། ཁོར་ཊི་སོལ་སྨན་རྫས་ཀྱིས་ཀྱང་འདིའི་སད་སློང་ལ་ཤུགས་རྐྱེན་ཙུང་ཤས་སྟེར་བ་རེད། གོང་གི་ཛི་ཨར་(GR)དང་ཨེམ་ཨར་(MR)སྨན་རྫས་གཉིས་ཀས་བབ་ལེན་རྐྱེན་རྫས་ཀྱི་ཚུལ་དུ་ལས་ལ་ཞུགས་ཤིང་། དེ་དག་གིས་ཊི་ཨེན་ཨེ་ལ་འཆིང་སྦྱོམ་བྱེད་པའི་སྒོ་ནས་སྤྲི་རྫས་ཀྱི་མངོན་རྣམ་སྤེལ་བའམ་སྡུད་བར་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། བར་ཚུན་འབྲེལ་བ་ཡོད་པའི་སྣེ་ལེན་པ་འདི་གཉིས་པོའི་བརྒྱུད་རབས་ལ་ཚན་རིག་པ་རྣམས་ཀྱིས་ཉེ་ལམ་བརྟག་གཅོད་བྱས་པའི་མཐར་རྒྱུན་ལྡན་མིན་པའི་འགྱུར་ལྡོག་ཁྲོད་བསྡོམས་བདུན་ཞིག་མཉམ་སྦྱོར་གྱི་སྒོ་ནས་ལས་ལ་ཞུགས་པའི་འབྲས་བུར་ཛི་ཨར་(GR)གྱི་སྟེང་དུ་ཁོར་ཊི་སོལ་ལ་དམིགས་བཀར་མཐུན་འཕྲོད་ཡོད་པའི་རང་གཤིས་དེ་བསྐྱེད་ཚུལ་རྟེད་ཡོད། "རིགས་རྫས་ཁྲིམ་རྒྱུད་སྟོང་པོ"ཞིག་ལ་བརྟེན་ནས་འབྲེལ་བ་ཡོད་པའི་རིགས་རྫས་དེ་འདྲ་དེད་པའི་སྒོ་ནས་ཚན་རིག་པ་རྣམས་ཀྱིས་སྣེ་ལེན་པ་འདི་གཉིས་སྤལ་ཆེར་ལོ་ངོ་ས་ཡ་ ༡༠༠ གོང་དུ་སྣེ་ལེན་པའི་རིགས་རྫས་ཁེར་རྐྱང་ཞིག་ལས་ཁ་གྱེས་ཡོད་པའི་མཚམས་ཚིགས་དེ་ངོས་འཛིན་བྱས་ཡོད། དེར་མ་ཟད། ཁོང་ཚོས་འཕེལ་འགྱུར་ཁྲོད་ཀྱི་འགྱུར་བའི་ས་ཚིགས་སོ་སོའི་སྐབས་ཀྱི་སྤྲི་རྫས་ཆགས་བཀོད་ཀྱི་རྣམ་པ་དེ་འདྲབའང་བསྐྱར་སྒྱུན་བྱེད་ཐུབ་ཡོད། དེ་ལྟར་བྱེད་པའི་སྒོ་ནས་ཁོང་ཚོས་འདི་ལྟར་ཏེ། སྣེ་ལེན་པའི་ཕྱིའི་བཀོད་དབྱིབས་ཙམ་ལ་འགྱུར་བ་ཕྱིན་པ་དེས་སྣེ་ལེན་པའི་སྟེང་གི་དེ་སྔོན་ཨལ་ཌོ་སི་ཊེ་རོན་སྨན་རྫས་ལ་དགའ་མོས་ཡོད་པ་དེ་ཕྱིས་སུ་ཁོར་ཊི་སོལ་ཐོག་ཁ་འགྱུར་ཐེབས་པར་གོང་གསལ་རྒྱུན་ལྡན་མིན་པའི་འགྱུར་ལྡོག་ཁོངས་ནས་གཙོ་ཆེར་གཉིས་ཀྱི་ཤུགས་རྐྱེན་ཡོད་པར་ངེས་གཏན་བྱས་ཡོད། དུས་རིམ་གཅིག་པ་དཀའི་རིང་ལ་རྒྱུན་ལྡན་མིན་པའི་འགྱུར་ལྡོག་བདུན་གྱི་ལྷག་མའི་ཁོངས་ནས་གཞན་གསུམ་གྱིས་སྣེ་ལེན་པ་དེའི་མཐུན་འཕྲོད་ཀྱི་ཆ་དེ་ཁོར་ཊི་སོལ་གྱི་ཕྱོགས་སུ་ཁ་སྒྱུར་བཏང་ཡོད་པ་རེད།

So, if we have channels and pumps specifically to regulate transport of particular ions (the most important ones in this case are K+, Na+, and Cl-) in or out of the cell depending on information in the cell's environment, we begin to see how the presence or absence of charge dictates the transport of messages.

Box 2. IN-DEPTH: THE ELECTRICAL NATURE OF NEUROTRANSMISSION

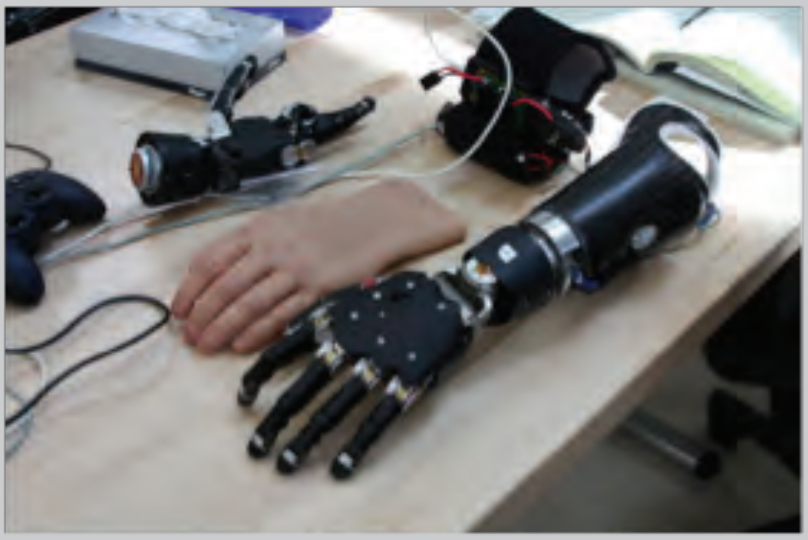


Neural interactions, and thus all thoughts and movement, require neurotransmission, which is both electrical and chemical. It is odd to think of our bodies as being full of electricity—the same force that drives our mobile phones and lights–but it's true. The electrical nature of neurotransmission is made strikingly evident by the technology of prostheses, or artificial body parts that alleviate severe deficits. For example, soldiers who lose arms or legs in war, can have 'new' artificial prostheses attached to their bodies to replace those missing limbs. The most modern of these prostheses have electrodes that electrically link them to the person. Over time people 'electrically train', that is learn, to move their prosthesis by thinking to move it just like they do with their natural limbs. Their thoughts are translated into electrical activity that moves the prosthesis, just as thoughts are translated into the electrical activity that moves a natural limb.

Brain implants are especially amazing. Working with people who are paralyzed, scientists have hooked electrodes either directly to the paralyzed person's brains or to their skull. Scientists then ask the person to think certain thoughts, for example, 'up' or 'down'. The general pattern of brain electrical output for each type of thought is determined by a computer, and after much effort, the computer software that results allows the paralyzed person to electrically control a computer mouse so that the person can move a cursor to point to or spell out their thoughts on a computer! The paralyzed person can communicate by having their thoughts—electrical neural activity - electrically transferred to a computer. These scientists are also discovering possible additional benefits of this work. Sometimes an electrode implanted in the brain seems to replace electrical activity from neurons that have died. The result is that the paralyzed person is now able to make certain movements that were not possible before receiving the electrode implant. Such research is very preliminary, but clearly has exciting potential. And for our purposes here, these examples illustrate how the nervous system uses the same kind of electricity that can run through wires and control machines.

དེས་ན་གལ་ཏེ་ཕྲ་ཕུང་གི་ཕྱིར་ཡུག་ཁྲོད་ཀྱི་ཆ་འཕྲིན་གང་མཆིས་ལ་གཞིགས་ཏེ་གློས་རྡུལ་ངེས་ཅན་(འདི་རིགས་ཀྱི་གློས་རྡུལ་གལ་ཆེ་ཤོས་གྲས་སུ་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གློས་རྡུལ་(K+)དང་། ཚྭ་རྫས་གློས་རྡུལ་(Na+)། ཚྭ་རླུང་གློས་རྡུལ་(Cl-)བཅས་ཡོད་པ་རེད།)དེ་འདྲ་ཕྲ་ཕུང་དེའི་ཕྱི་ནང་གང་རུང་དུ་ཞུགས་འཐོན་གང་རུང་གི་སྐྱེལ་འདྲེན་བྱ་བར་ཆེད་དུ་སྒྲངས་འཛིན་བྱེད་པའི་རྒྱུ་ལམ་དང་འབྱུད་པ་དེ་འདྲ་ང་ཚོར་ཡོད་ཚེ་(གློག་)ཁུར་ཡོད་མེད་ཀྱི་དབང་གིས་བརྡ་འཕྲིན་གྱི་སྐྱེལ་འདྲེན་བྱ་བར་བཀག་བཀོད་ཇི་ལྟར་ཐེབས་ཚུལ་དེ་ང་ཚོས་མཐོང་ཐུབ།

སྒྲོམ་བུ་གཉིས་པ། གཏིང་ཚུགས་པའི་ལྟ་ཞིབ། དབང་རྩའི་འཕྲིན་གཏོང་རྒྱུད་རིམ་གྱི་གློག་གཤིས་རང་བཞིན།



དབང་རྩ་ནང་ཡན་ཚུན་གྱི་སྦྲེལ་སྦྱོར་ཏེ། བསམ་བློ་དང་འགུལ་སྐྱོད་ཀྱི་རིགས་ཀུན་ཚུད་པའི་སྦྲེལ་སྦྱོར་ཀུན་ལ་དབང་རྩའི་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་རིམ་ངེས་པར་མཁོ་ཞིང་། བྱེད་རིམ་འདི་གློག་འགྱུར་དང་རྫས་འགྱུར་གཉིས་ཀའི་ངོ་བོར་ཡོད། ང་ཚོའི་ལུས་ཕུང་རྣམས་གློག་གིས་ཁེངས་ཡོད་པར་བསམ་བློ་འཁོར་དུས་ཙུང་ཟད་མི་བདེ་བ་ཡོད་རུང་། དེ་ནི་བདེན་པ་ཡིན། གློག་དེ་ཡང་ང་ཚོའི་ལག་ཐོགས་ཁ་པར་དང་གློག་ཆས་ནང་རྒྱུན་ལྡན་དུ་བཀོལ་སྤྱོད་བྱེད་པ་དེ་རང་ཡིན། དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱ་བའི་གློག་འགྱུར་རང་བཞིན་ནི་ཚབ་ཆས་ཀྱི་འཕྲུལ་ཆས་ཏེ། ལུས་པོར་ཐོག་པའི་ཉམས་སྐྱོན་ཚབས་ཆེ་རིགས་ཀུན་གསབ་བྱེད་པར་བཀོལ་བའི་བཅོས་མའི་ཡན་ལག་དག་གིས་ཆེས་མངོན་གསལ་དོད་པོར་གསལ་སྟོན་བྱས་ཡོད། དཔེར་ན་དམག་སར་རྐང་ལག་ཤོར་བའི་དམག་མི་རྣམས་ལ་རང་གི་སྟོར་བའི་ཡན་ལག་དེ་དག་གི་ཚབ་ཏུ་བཅོས་མའི་ཚབ་ཆས་གསར་པ་དེ་འདྲ་ལུས་པོར་མཐུད་སྦྱིག་བྱེད་པ་ལྟ་བུ་ཡིན། ཚབ་ཆས་འདིའི་རིགས་གསར་ཤོས་གྲས་ལ་གློག་སྐུད་མང་པོ་དང་འཕྲིགས་ཡོད་པས་དེ་དག་གིས་ཡན་ལག་འདི་དག་མིའི་ལུས་པོར་མཐུད་སྦྱོར་འཚམས་འཕྲིག་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། དུས་ཚོད་རིམ་གྱིས་སོང་བ་ན་དོ་བདག་སྐྱེ་བོ་རྣམས་ལ་གློག་གཤིས་ཀྱི་སློབ་གསོ་ཐེབས་པ་སྟེ། རང་གི་རྒྱུན་ལྡན་གྱི་ཡན་ལག་ཇི་ལྟ་བ་བཞིན་འགུལ་བསྐྱོད་ཀྱི་ཀུན་སློང་རྗེས་འབྲེལ་གྱིས་ཚབ་ཆས་དེ་དག་ཇི་ལྟར་འདོད་འདོད་དུ་འགུལ་སྐྱོད་བྱེད་པར་ལོབས་ཀྱི་ཡོད། དེ་ནི་རྒྱུན་དུ་སྐྱེ་བོའི་བསམ་བློ་རྣམས་རང་ཆས་ཀྱི་ཡན་ལག་སྐྱུལ་བའི་གློག་འགྱུར་གྱི་བྱ་གཞག་ངོ་བོར་བབ་སྒྱུར་བྱེད་པ་ཇི་ལྟ་བ་བཞིན། སྐྱེ་བོ་དེའི་བསམ་བློ་རྣམས་ཚབ་ཆས་སྐྱུལ་བའི་གློག་འགྱུར་གྱི་བྱ་གཞག་ངོ་བོར་བབ་པ་རེད།

ཀླད་པར་རྩ་སྦྱོར་རྒྱག་རྒྱུ་ནི་དེ་བས་ཀྱང་ཡ་མཚན་སྐྱེ་གཞི་ཞིག་ཡིན། གཞོགས་ཕྱེད་ནད་པར་བརྟག་དཔྱད་བྱེད་པའི་ཚན་རིག་པ་རྣམས་ཀྱིས་ནད་པ་དེའི་ཀླད་པའམ། ཡང་ན། ཀ་ཡིར་ཐད་ཀར་གློག་སྣེ་དེ་འདྲ་མཐུད་ཀྱི་ཡོད། དེ་ནས་ཚན་རིག་པ་དག་གིས་ནད་པ་དེར་དཔེར་ན། ‘ཡར’ དང་ ’མར’ལྟ་བུའི་བསམ་བློ་བྱེ་བྲག་པ་དེ་འདྲ་གཏོང་དུ་འཇུག་གི་ཡོད། བསམ་བློའི་འཕྲེར་བཟོ་རེ་རེ་དང་སྦྲེལ་བའི་ཀླད་པའི་གློག་འགྱུལ་རྣམ་འགྱུར་གྱི་སྤྱིའི་འགྲོས་རིམ་གང་ཡིན་པ་དེ་གློག་ཀླད་ཅིག་གིས་གཏན་འཁེལ་བྱེད་ཀྱི་ཡོད་ལ། དེ་ལྟར་འབད་རྩོལ་བསྟུད་མར་བྱས་མཐར་བསྒྲིགས་པའི་གློག་ཀླད་མཉེན་ཆས་དེས་གཞོགས་ཕྱེད་ནད་པར་གློག་ཤུགས་ཀྱི་ལམ་ནས་གློག་ཀླད་ཀྱི་ཙི་ཙིར་ཚོད་འཛིན་འཐོབ་པར་རམ་འདེགས་བྱེད། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་སྐྱེ་བོ་དེས་གློག་ཀླད་སྟེང་དུ་རང་གི་འདོད་པ་ལྟར་མཚམས་མདའ་སྐྱུལ་ཐུབ་པར་བཟོ་བ་དང་། དེ་བཞིན་དུ་རང་གི་བསམ་བློ་གང་ཡིན་གློག་ཀླད་སྟེང་འཆར་དུ་འཇུག་ཐུབ་ཀྱི་ཡོད། དེའི་ཚུལ་གྱིས་དོ་བདག་སྐྱེ་བོའི་བསམ་བློ་གང་འཁོར་བ་དེ་(དབང་རྩའི་གློག་འགྱུར་བྱ་གཞག་དེ་)གློག་ཤུགས་ཀྱི་ལམ་ནས་གློག་ཀླད་སྟེང་བསྐྱལ་བའི་སྒོ་ནས་གཞོགས་ཕྱེད་ནད་པ་དག་གིས་གཞན་ལ་གླེང་མོལ་བྱེད་ཐུབ། ཚན་རིག་པ་འདི་དག་གིས་བྱ་གཞག་འདིའི་དགེ་མཚན་ལྷག་པོ་གཞན་གང་འབྱུང་སྲིད་པའི་ཐད་ལའང་རྟོག་ཞིབ་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། སྐབས་རེ་ཀླད་པར་བཙུགས་པའི་གློག་སྣེ་ཞིག་གིས་ཕྱིར་ནས་འགག་ས་ཟིན་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གི་བྱ་གཞག་རིགས་ཚབ་གསོ་བྱེད་ཐུབ་པ་ལྟ་བུའང་སྣང་གི་ཡོད། དེའི་མཇུག་འབྲས་ནི་གཞོགས་ཕྱེད་ནད་པ་ཞིག་གིས་ད་བར་བསྒྲུབས་མ་ཐུབ་པའི་འགུལ་སྐྱོད་བྱེ་བྲག་པའི་རིགས་ད་ཆ་གློག་སྣེ་བཙུགས་པའི་རྗེས་སུ་གཞི་ནས་བསྒྲུབ་ཐུབ་པ་འབྱུང་གི་ཡོད། ཞིབ་འཇུག་གི་བྱ་གཞག་འདི་རིགས་ད་ལྟ་ཆེས་གཞི་རིམ་ཡིན་ཡང་། འདི་དག་ལ་སྤྲོ་སྣང་སྐྱེད་པའི་རེ་བ་ཆེན་པོ་ཡོད་པ་ནི་གསལ་པོ་ཡིན། སྐབས་དོན་གྱི་གླེང་གཞི་དང་སྦྲེལ་ནས་བཤད་ན། གོང་གསལ་དཔེ་མཚོན་དེ་དག་གིས་རྒྱུན་དུ་གློག་སྐུད་དང་འཁྱིལ་འཁོར་སྒྲངས་འཛིན་ལ་བེད་སྤྱོད་བྱེད་པའི་གློག་ཤུགས་དེ་ག་རང་ང་ཚོའི་དབང་རྩ་མ་ལག་གིས་སྤྱོད་སྒོར་བསྟེན་ཚུལ་འགྲེལ་མཚོན་བྱེད་པ་རེད།

RESTING MEMBRANE POTENTIAL

Scientists discovered another crucial aspect of electrical charge's role in neurotransmission once technological advances enabled them to measure the voltage difference (also known as membrane potential) between the inside and outside environments of typical neurons (Figure 7). They discovered that when a neuron is not active, its so-called resting potential is negative—specifically around -70 mV (mV stands for millivolt or one-thousandth of a volt, and measures the difference in electropotential). This means that the outside of the neuron has a voltage 70 mV more positive than the inside.

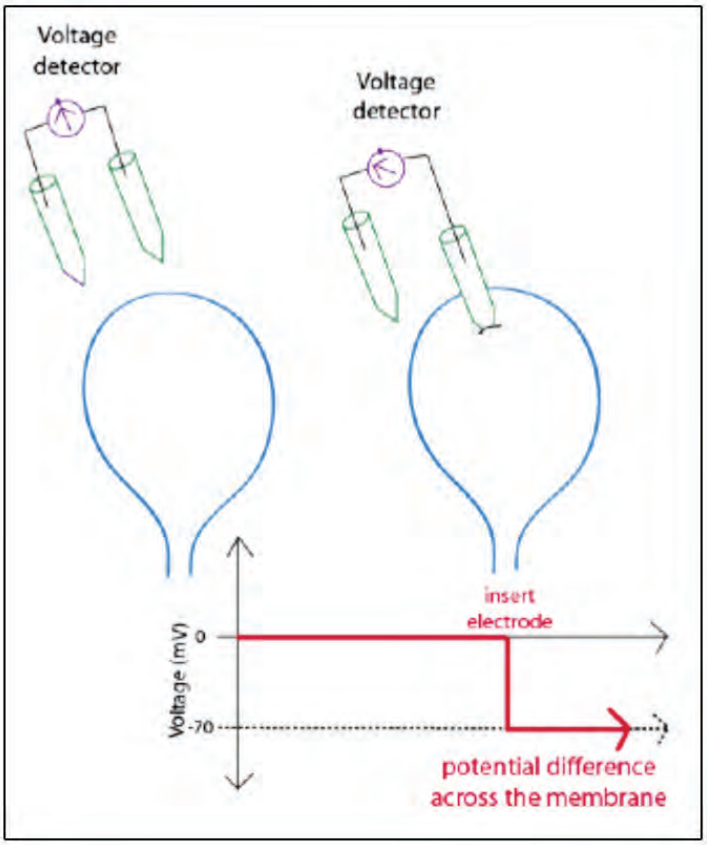
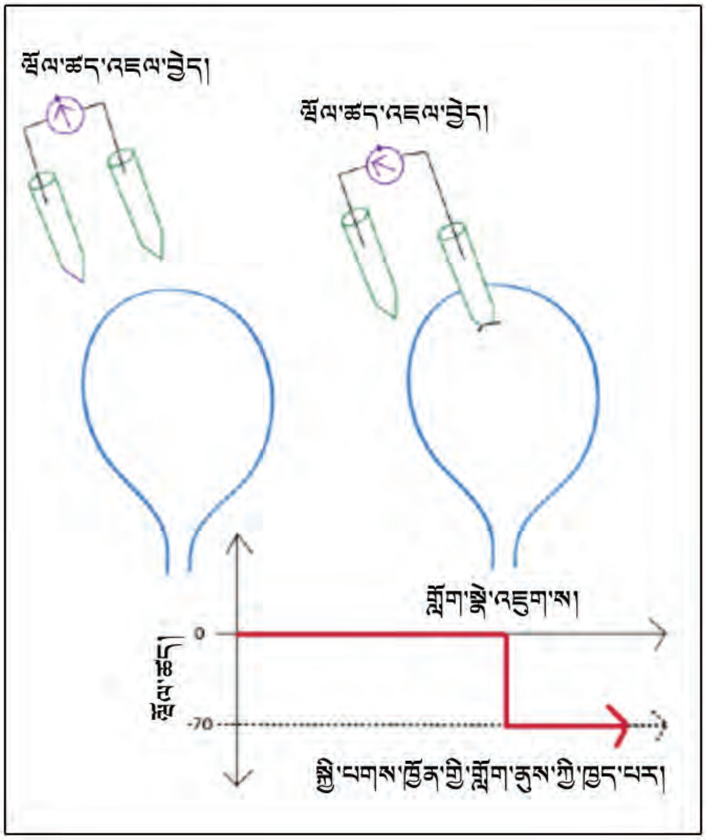


Figure 7: A voltage clamp measures the voltage difference between the inside and outside of a cell.

In general, ions flow through membranes based on two principles: concentration gradients and electrical gradients. Let's first consider the concentration gradient. Ions naturally move toward equilibrium, from higher to lower concentration (Figure 8). So, if a membrane allows ions to move across it by opening a specific channel for a particular type of ion, say Na+, these ions would, without the addition of extra energy, move from the side of its higher concentration to the side of its lower concentration, until the concentration of sodium ion was the same on both sides. However, as the Na+ ions move through the sodium channels down their concentration gradient from the outside to the inside of the neuron, they also take their charge with them. Because Na+ ions carry a positive charge, opening of sodium channels in the memrane will lead to the flow of positive current into the neuron, and therefore this neuron will become depolarized (i.e. become less negative on the inside). Why then does the neuron show a negative charge inside during resting? Well, this is because normally the membrane has many more open K+ channels than Na+ channels in its membrane. Because K+ is more concentrated on the inside it will flow to the outside down its own concentration gradient and make the outside more positive. In effect, negative charges from other ions that cannot move through the membrane are left behind and result in the negative charge seen inside.

So why does the membrane then not become even more negative on the inside than -70 mV, which is the normal resting potential in many neurons? What keeps the ions from continuing their movement indefinitely? Again,



དཔེ་རིས། ༧ ཞོལ་ཚད་སྐྲམ་འཛིན་ཡོ་བྱད་ལ་བརྟེན་ནས་ཕྲ་ཕུང་གི་ཕྱི་ལོགས་དང་ནང་ལོགས་དབར་གྱི་ཞོལ་ཚད་ཁྱད་པར་གཞལ་བ་རེད།

སྐྱི་མོའི་བྱ་མེད་ནུས་པ།

འཕྲུལ་ཆས་ཡར་རྒྱས་ཕྱིན་པའི་རྗེས་འབྲས་སུ་རྒྱུན་ལྡན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་གི་ཕྱི་ནང་གི་ཁོར་ཡུག་གཉིས་དབར་ཞོལ་ཚད་ཁྱད་པར་(ཧྲེ་འདི་ལ་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་ཞེས་ཀྱང་འབོད་)གཞལ་ནུས་པར་གྱུར་པ་(དཔེ་རིས། ༧)ནས་བཟུང་ཚན་རིག་པ་རྣམས་ལ་དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་རིམ་ནང་གློག་ཁུར་གྱི་བྱེད་ནུས་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་ཤས་གནད་ཆེ་བ་གཞན་ཞིག་རྙེད་རྟོགས་བྱུང་ཡོད། དེ་ནི་འདི་ལྟ་སྟེ། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་ངར་མ་སད་པར་གནས་པའི་ཆེ་དེའི་བྱ་མེད་ནུས་པའི་ཚད་དེ་མོ་གྲངས་ནང་གནས་པར་རྙེད་པ་དང་། དེ་ཡང་དམིགས་བཀར་དུ་བརྩིས་ན་མི་ལི་ཞོལ་ཚད་མོ་གྲངས་-70mV (འདིའི་ mV ཞེས་པ་millivolt མི་ལི་ཞོལཊ་ལ་གོ་བས། ཞོལ་ཚད་ཀྱི་སྟོང་ཆ་གཅིག་ལ་ཟེར་བ་རེད། དེས་གཞི་གཉིས་དབར་གྱི་གློག་འགྱུར་ནུས་པ་ལ་ཁྱད་པར་ཇི་ཡོད་ཚད་གཞལ་གྱི་ཡོད།)ཡི་ཡས་མས་ལ་སླེབས་པར་རྙེད་པ་དེ་རེད། འདིས་ནི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་བྱེ་བྲག་པ་དེའི་ནང་ངོས་ལ་ལྟོས་ཏེ་དེའི་ཕྱི་ངོས་དེར་ཞོལ་ཚད་ཕོ་གྲངས་མི་ལི་ཞོལ་ཚད་ ༧༠ མང་བ་ཡོད་པར་བསྟན་གྱི་ཡོད།

སྤྱིར་ན། སྐྱི་པགས་བརྒྱུད་ནས་གྲེས་རྡུལ་རྒྱུ་ལུགས་དེ་རྩ་འཛིན་གཉིས་གཞི་ལ་བྲོས་པ་ཞིག་རེད། དེ་དག་ནི། གར་ཚད་གཟར་བབ་དང་གློག་འགྱུར་གཟར་བབ་བཅས་ཡིན། ཐོག་མར་ང་ཚོས་གར་ཚད་གཟར་བབ་སྐོར་གླེང་ན་འདི་ལྟར། གྲེས་རྡུལ་རྣམས་གར་ཚད་མཐོ་ས་ནས་དམའ་སའི་ཕྱོགས་སུ་རྒྱུ་བས་(དཔེ་རིས། ༦)རང་བཞིན་གྱིས་འཁོད་སྙོམ་གྱི་ཕྱོགས་སུ་རྒྱུ་བ་ཡིན། དེས་ན་སྐྱི་པགས་ཤིག་གིས་གྲེས་རྡུལ་གྱི་རིགས་བྱེ་བྲག་པ་ཞིག་(དཔེར་ན་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་Na+ལྟ་བུ་ཞིག་)གི་ཆེད་དུ་རྒྱུ་ལམ་དམིགས་བཀར་བ་ཞིག་ཕྱེ་བའི་སྒོ་ནས་རང་གི་ཁྲོན་དུ་གྲེས་རྡུལ་དེ་རྒྱུ་རུ་འཛུག་པ་ན། ནུས་པ་ཐོལ་བ་བསྟན་མི་དགོས་པར་གར་ཚད་མཐོ་སའི་ཕྱོགས་ནས་དམའ་སར་འབབ་ཅིང་། དེ་ཡང་ཕྱོགས་གཉིས་ཀའི་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་གྱི་གར་ཚད་གཅིག་པ་མ་ཆགས་ཀྱི་བར་དུ་འབབ་པ་རེད། དེ་ལྟར་ནའང་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་བྱེ་བྲག་པ་དེའི་ཕྱི་ལོགས་ནས་ནང་ལོགས་ཀྱི་ཕྱོགས་སུ་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་དེ་དག་རང་གི་གར་ཚད་གཟར་བབ་རྒྱུད་དུ་བུལ་རྫས་ཀྱི་རྒྱུ་ལམ་བརྒྱུད་ནས་འབབ་པ་ན། དེ་དག་གིས་རང་གི་(གློག་)ཁུར་ཡང་མཉམ་དུ་འཁུར་བ་རེད། དེ་ལ་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་དེ་དག་ཕོའི་གློག་ཁུར་འཆང་བ་ཡིན་པས། བུལ་རྫས་ཀྱི་རྒྱུ་ལམ་ཁ་འབྱེ་བ་ལས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་ཁོག་ནང་དུ་ཕོའི་གློག་རྒྱུན་བཞུད་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་ཉིད་ཀྱི་སྣེ་འཕྲུལ་རང་གཤིས་དེ་ཚུར་འདུམ་པར་(དེའི་ནང་ཆ་དེ་མོ་ཤས་ཆུང་བར་འགྱུར་བས་ཡིན།)འགྱུར་ངེས་རེད། དེ་ལྟར་ཡིན་ན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་ཉིད་ལས་སུ་མ་ཞུགས་པའི་གནས་སྐབས་སུ་རང་གི་ནང་ངོས་ཀྱི་གློག་ཁུར་དེ་མོ་ཡིན་པ་ཅིས་ཡིན་ནམ་ཞེ་ན། དེ་ནི་སྐྱི་པགས་དེར་རྒྱུན་དུ་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་གྱི་རྒྱུ་ལམ་ཁ་ཕྱེ་བའི་གྲངས་ལ་ལྟོས་ཏེ་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་གྱི་རྒྱུ་ལམ་ཁ་ཕྱེ་བ་མང་བ་འབྱུང་བས་རེད། དེ་ཡང་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་ནི་ནང་ལོགས་སུ་གར་ཚད་མཐོ་བ་ཡོད་པས་རང་གི་གར་ཚད་གཟར་བབ་ཀྱི་རྒྱུད་དུ་ཕྱི་ཕྱོགས་སུ་རྒྱུ་བ་ལ་བརྟེན་ནས་ཕྱི་ལོགས་ཀྱི་ཆ་དེ་ཕོ་ཤས་ཆེ་བར་བཟོ་བ་རེད། དེའི་འབྲས་བུར། སྐྱི་པགས་བརྒྱུད་ནས་རྒྱུ་མི་ཐུབ་པའི་གྲེས་རྡུལ་གཞན་དག་གི་གློག་ཁུར་མོ་དེ་དག་རྗེས་ཤུལ་དུ་ལྷག་པ་དང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ནང་ལོགས་སུ་རྙེད་པའི་མོའི་གློག་ཁུར་དེ་གྲུབ་པ་རེད།

དེ་ལྟར་ཡིན་ན། སྐྱི་པགས་དེ་དག་གི་ནང་ངོས་སུ་མི་ལི་ཞོལ་ཚད་མོ་གྲངས་བདུན་ཅུ(-70mV) སྟེ། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་མང་དག་ཅིག་གི་འཆར་ཅན་བྱ་མེད་ནུས་པའི་ཚད་དེ་ལས་ཀྱང་མོ་ཤས་ཆེ་བར་ཅིའི་ཕྱིར་མི་འགྱུར་རམ། གྲེས་རྡུལ་དེ་དག་སུ་མཐུད་དུ་ཐུག་མེད་དུ་བགྲོད་པར་གང་ཞིག་གིས་བར་ཆད་བྱེད་དམ་ཞེ་ན། འདིར་ཡང་སྐྱི་པགས་རྒྱུད་དུ་གྲེས་རྡུལ་རྒྱུར་འཛུག་པའི་སྟབས་ཀྱི་ནུས་ཤུགས་དེ་དྲན་གསོ་བྱེད་ན་གནས་དོན་འདི་དག་ཤེས་ཐུབ། ང་ཚོས་ད་བར་དེ་འདྲའི་ཤུགས་གཅིག་གི་སྐོར་གྲོས་སྟུར་བྱས་ཡོད་ཅིང་། དེ་ནི་གར་ཚད་གཟར་བབ་ཀྱིས་བསྐྱེད་པ་དེ་ཡིན། དེས་གྲེས་རྡུལ་རྣམས་གར་ཚད་ཉུང་བའི་ཕྱོགས་སུ་འདྲེན་པ་རེད། འོན་ཀྱང་གྲེས་རྡུལ་སྟེང་དུ་བྱེད་ནུས་འདོན་པའི་ཤུགས་གཞན་

we can understand this by recalling the forces that make the ion move across the membrane. We have just discussed one force, which is given by the concentration gradient and which pulls the ions to the side of lower concentration. But another force acting on the ions is the electrical gradient - ions are repelled by like charges (i.e. positive charges are repelled by positive ones). Therefore, when K+ moves outside the cell, the loss of these ions leaves a net negative charge on the inside, which attracts the positive K+ ions and makes them less likely to move outside (Figure 9). In fact, when this electrical force is equal but opposite to the force provided by the concentration gradient, K+ ions stop moving through the membrane altogether, even if K+ channels are open. The membrane potential that exactly counteracts the concentration gradient of an ion is called the equilibrium potential of this ion.

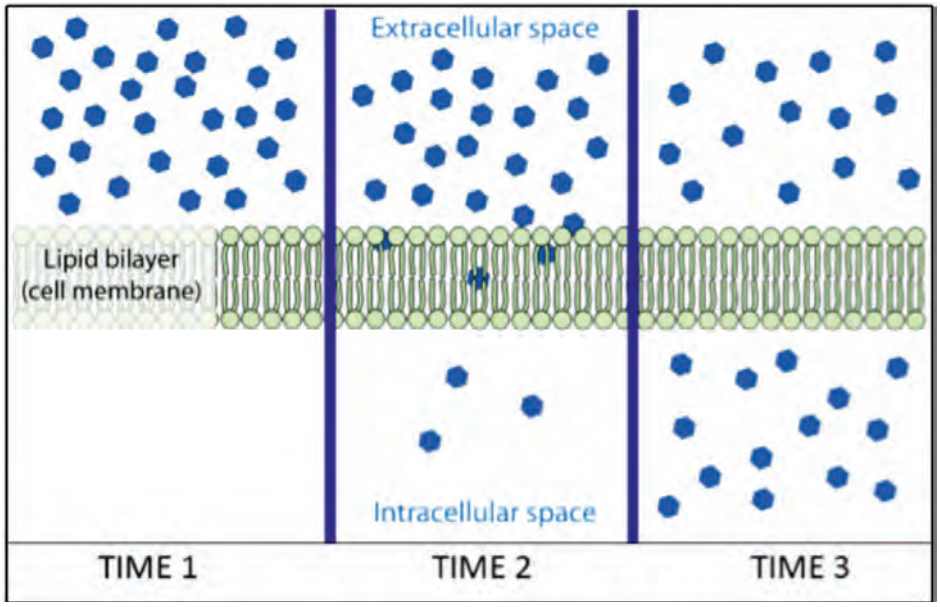


Figure 8: Simple diffusion of molecules through a permeable membrane. Over time, there will be equal concentration of molecules on both sides of the membrane.

Now we still have an important question: How, if ions always flow down their concentration gradient, can there be a higher concentration on one side of the membrane in the first place? The answer to this question lies in another type of membrane protein, called an ion pump. Ion pumps move ions against their natural concentration gradient, but this process requires spending energy. For instance, the Na+/K+ exchange pump (Figure 10) uses one molecule of ATP for each 3 Na+ ions pumped to the outside, while 2 K+ ions are also transported to the inside. Because for each 3 Na+ ions leaving only 2 K+ ions enter in this process, the Na+/K+ exchange pump also helps the inside of the membrane to stay negative. The Na+/K+ pump is essential for maintaining the resting membrane potential of neurons.

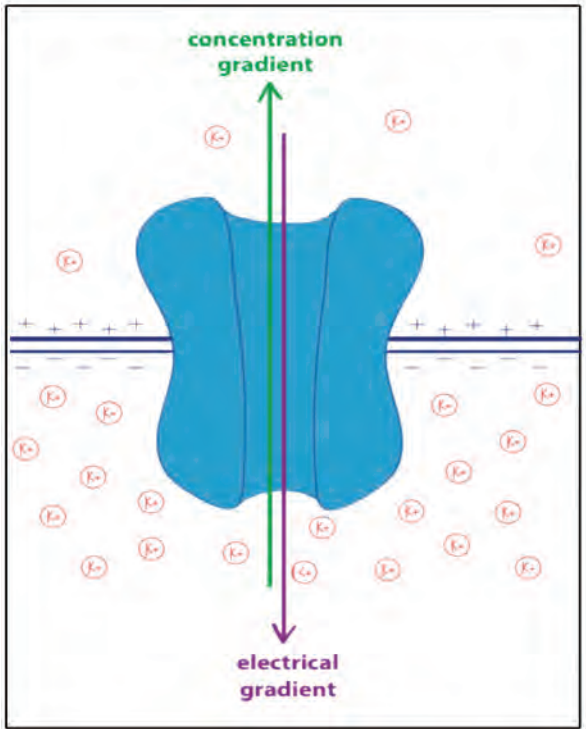
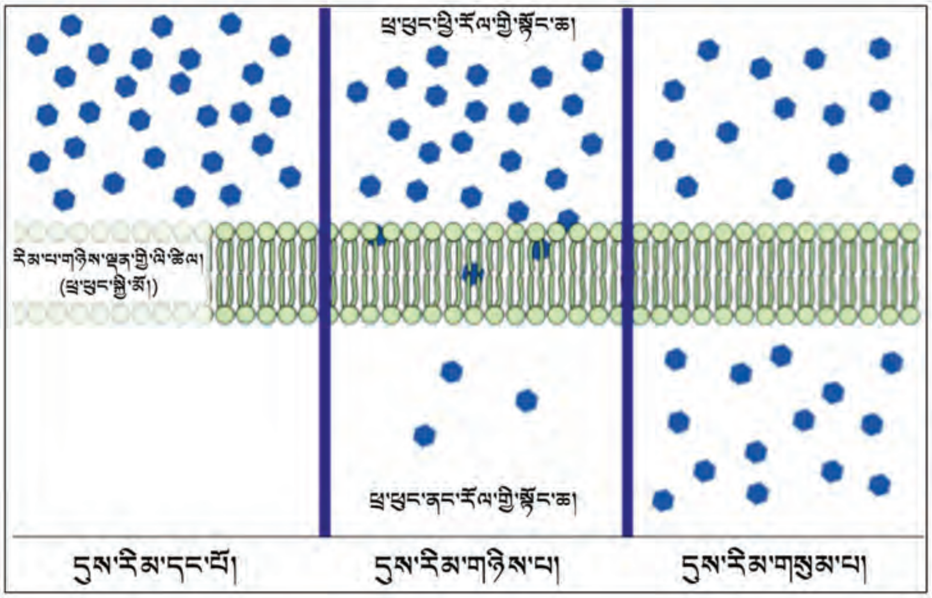


Figure 9: Because there is more K+ inside the cell, the concentration gradient pushes it out. As K+ leaves the cell, a net charge begins to build along the membrane, creating an opposing electrical gradient.

ACTION POTENTIALS

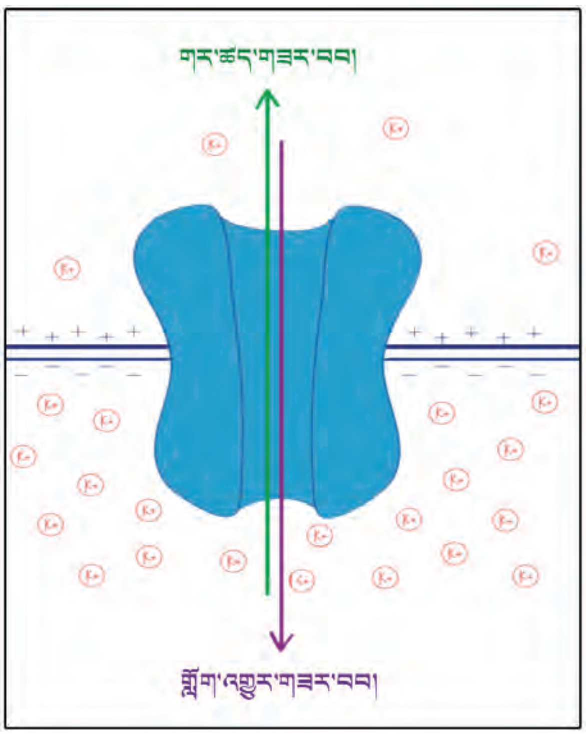
So, now we have most of the key elements of an information-sending system: a specialized cell (the neuron) with specialized parts (some for receiving, some for sending information), including proteins that regulate the amount



དཔེ་རིས། ༨ སིམ་རྫས་ཅན་གྱི་སྐྱི་པགས་བརྒྱུད་ནས་འདུས་རྡུལ་ཁྱབ་འགྱེད་བྱེད་ཚུལ་གྱི་རྣམ་པ་སྣ་བསྡུས་ཤིག དུས་ཚོད་རིམ་གྱིས་སོང་རྗེས་སྐྱི་པགས་ཀྱི་ཕྱོགས་གཉིས་ཀར་འདུས་རྡུལ་གྱི་གར་འདུས་ཚད་གཞི་ཆ་སྙོམས་སུ་འགོད་པར་འགྱུར།

ཞིག་ཡོད་པ་དེ་ནི་གློག་འགྱུར་གཟར་བབ་ཀྱིས་བསྐྱེད་པ་ཡིན་ཞིང་། དེ་ནི་གྲེས་རྡུལ་རྣམས་(གློག་)ཁུར་མཚུངས་པའི་རིགས་ཀྱིས་ཕན་ཚུན་འབུད་རེས་བྱེད་པ་ལ་ཟེར། (དཔེར་ན། གློག་ཁུར་ཕོ་འཆང་བ་ཞིག་ལ་ཕོ་འཆང་བ་གཞན་གྱིས་འབུད་པར་བྱེད་པ་ལྟ་བུ་ཡིན།) དེས་ན། ནམ་ཞིག་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་ཕོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་གྲེས་རྡུལ་དེ་འདྲ་ཕ་ཕུང་གི་ཕྱི་ལོགས་སུ་ཐོན་པ་ན། དེ་དག་ཕོར་བའི་ཤུལ་དུ་ཕ་ཕུང་གི་ནང་ངོས་སུ་གློག་ཁུར་མོ་ཅན་གྱི་གཙང་ལྷག་ཁུར་རྡུལ་ལྷག་མར་ལུས་པར་འགྱུར་ལ། དེས་ཕོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་དེ་འདྲ་རང་ཕྱོགས་སུ་འཐེན་པར་བྱེད་ཅིང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་གྲེས་རྡུལ་དེ་དག་ཕྱི་ཕྱོགས་སུ་འཐོན་དཀའ་བར་བཟོ་བ་རེད།(དཔེ་རིས། ༩) དངོས་འབྲེལ་དུ། གལ་ཏེ་གློག་འགྱུར་གྱི་ཤུགས་འདི་གར་ཚད་གཟར་བབ་ཀྱིས་འདོན་པའི་ཤུགས་དང་ཚད་མཉམ་ཡང་། གློག་གཤིས་གོ་ལྡོག་པ་ཡིན་ཚེ། སྐབས་དེར་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་གྱི་རྒྱ་ལམ་བྱེ་ནས་ཡོད་ཀྱང་། ད་དུང་གྲེས་རྡུལ་དེ་དག་སྐྱི་པགས་བརྒྱུད་ནས་ཕྱིར་འཐོན་རྒྱ་ནད་དེ་མཚམས་འཛོག་བྱེད་པ་རེད། གྲེས་རྡུལ་ཞིག་གི་གར་ཚད་གཟར་བབ་དང་ཧག་ཧག་ཁ་གཏད་བྱེད་པའི་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་དེ་ལ་གྲེས་རྡུལ་དེའི་ཆ་མཉམ་ནུས་པ་ཟེར་བ་རེད།

ང་ཚོར་ད་དུང་དྲི་བ་གལ་ཆེན་ཞིག་ཡོད་པ་ནི། གལ་ཏེ་གྲེས་རྡུལ་རྣམས་རྟག་ཏུ་གར་ཚད་གཟར་བབ་ཀྱི་མཐོ་ས་ཞིག་ནས་མར་འབབ་པར་བཤད་ན། སྐྱི་པགས་ཀྱི་ཕྱོགས་གཅིག་ཏུ་གར་ཚད་མཐོ་བ་ཞིག་ཡོད་དགོས་པ་དེ་ཐོག་མར་ག་འདྲ་བྱས་ཏེ་བྱུང་བ་ཡིན་ནམ་ཞེས་པ་འདི་ཡིན། དྲི་བ་འདིར་གདབ་རྒྱུའི་ལན་ནི་གྲེས་རྡུལ་འབུད་པ་ཞེས་སུ་འབོད་པའི་སྐྱི་པགས་སྤྲི་རྫས་ཀྱི་རིགས་གཞན་ཞིག་ཡོད་པ་དེར་འཚང་ཡོད། གྲེས་རྡུལ་འབུད་པ་ཡིས་གྲེས་རྡུལ་རྣམས་རང་གི་རང་བྱུང་གར་ཚད་གཟར་བབ་དང་ལྡོག་ཕྱོགས་སུ་བསྐྱལ་བ་རེད། འོན་ཀྱང་བྱེད་རིམ་འདིར་ནུས་པ་རྒྱ་གྲོན་གཏོང་དགོས་ཀྱི་ཡོད། དཔེར་ན། བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་དང་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་ཕན་ཚུན་བརྗེ་སྒྱུར་གཏོང་བའི་འབུད་པས་(དཔེ་རིས། ༡༠)བུལ་རྫས་ཀྱི་གྲེས་རྡུལ་གསུམ་ཕྱི་རོལ་ཏུ་འཕུལ་རྒྱག་གཏོང་བ་དང་དུས་མཉམ་དུ་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་གཉིས་ནང་རོལ་དུ་འདྲེན་གཏོང་བྱེད་ཐེངས་རེར་ཨེ་ཏི་པི་(ATP) འདུས་རྡུལ་གཅིག་བེད་སྤྱོད་གཏོང་གི་ཡོད། བུལ་རྫས་ཀྱི་གྲེས་རྡུལ་གསུམ་ཕྱིར་ཐོན་ཐེངས་རེ་ལ་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་གཉིས་ཙམ་ནང་འདྲེན་བྱེད་ཐུབ་ཀྱི་ཡོད། དེའི་རྒྱུ་མཚན་གྱིས་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་དང་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་ཕན་ཚུན་བརྗེ་སྒྱུར་གཏོང་བའི་འབུད་ཆས་ཀྱིས་སྐྱི་པགས་ཀྱི་ནང་ཆ་དེ་མོའི་གློག་ཁུར་ཅན་དུ་སུ་མཐུད་དུ་གནས་པར་རམ་འདེགས་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། དེ་ཡང་ཕོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་དང་ཕོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་ཕན་ཚུན་བརྗེ་སྒྱུར་གཏོང་བའི་འབུད་པ་ནི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གི་སྐྱི་མོའི་བྱ་མེད་ནུས་པའི་གནས་བབ་རྒྱུན་འཛིན་ཐུབ་རྒྱུར་མཁོ་ཆེ་བ་ཡིན།



དཔེ་རིས། ༩ ཕ་ཕུང་གི་ནང་དུ་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་ཕོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་གྲེས་རྡུལ་མང་བ་ཡོད་པའི་རྐྱེན་གྱིས་གར་ཚད་གཟར་བབ་ཀྱིས་དེ་འདྲའི་རིགས་ཕྱིར་འབུད་པར་བྱེད། དེ་ལྟར་དུ་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་དེ་རིགས་ཕ་ཕུང་གཡུགས་ནས་ཕྱིར་ཐོན་པ་ན་སྐྱི་པགས་ཀྱི་རྒྱུད་དུ་གཙང་ལྷག་གློག་ཁུར་རྡུལ་རིགས་གསོག་པའི་འགོ་རྩོམ་ལ། དེས་འགལ་ཟླ་ཅན་གྱི་གློག་འགྱུར་གཟར་བབ་ཅིག་བསྐྲུན་པར་བྱེད།

ལས་འཇུག་ནུས་པ།

ད་ནི་ཆ་འཕྲིན་འདྲེན་གཏོང་མ་ལག་ཅིག་ལ་ཚང་བའི་ཆ་ལག་གཙོ་ཆེ་བ་ཕལ་མོ་ཆེ་ང་ཚོས་ཤེས་ཡོད་དེ། (ཡན་ལག་འགག་རེས་ཆ་འཕྲིན་ལེན་པ་དང་འགག་རེས་གཏོང་བ་ལྟ་བུ་)ཆེད་ལས་ཅན་གྱི་ཡན་ལག་དེ་འདྲ་ཚང་བའི་ཆེད་ལས་ཅན་གྱི་ཕ་ཕུང་(དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་)ཞིག་དང་། (ཆ་འཕྲིན་གཏོང་བའི་ཆེད་དུ་ཕ་ཕུང་དེས་གློག་ཁུར་དེ་ཉིད་བརྒྱུད་ལམ་གྱི་ཚུལ་དུ་བེད་སྤྱོད་ནུས་པ་བྱེད་རྒྱུར་)སྐྱི་པགས་ཕྱོན་དུ་རྒྱ་བའི་(གློག་)ཁུར་གྱི་འཕོར་ཚད་ལ་སྟངས་འཛིན་བྱེད་པའི་སྤྲི་རྫས་བཅས་ཡིན། དེས་ན་ད་གཟོད་འདྲི་རྒྱུའི་དྲི་

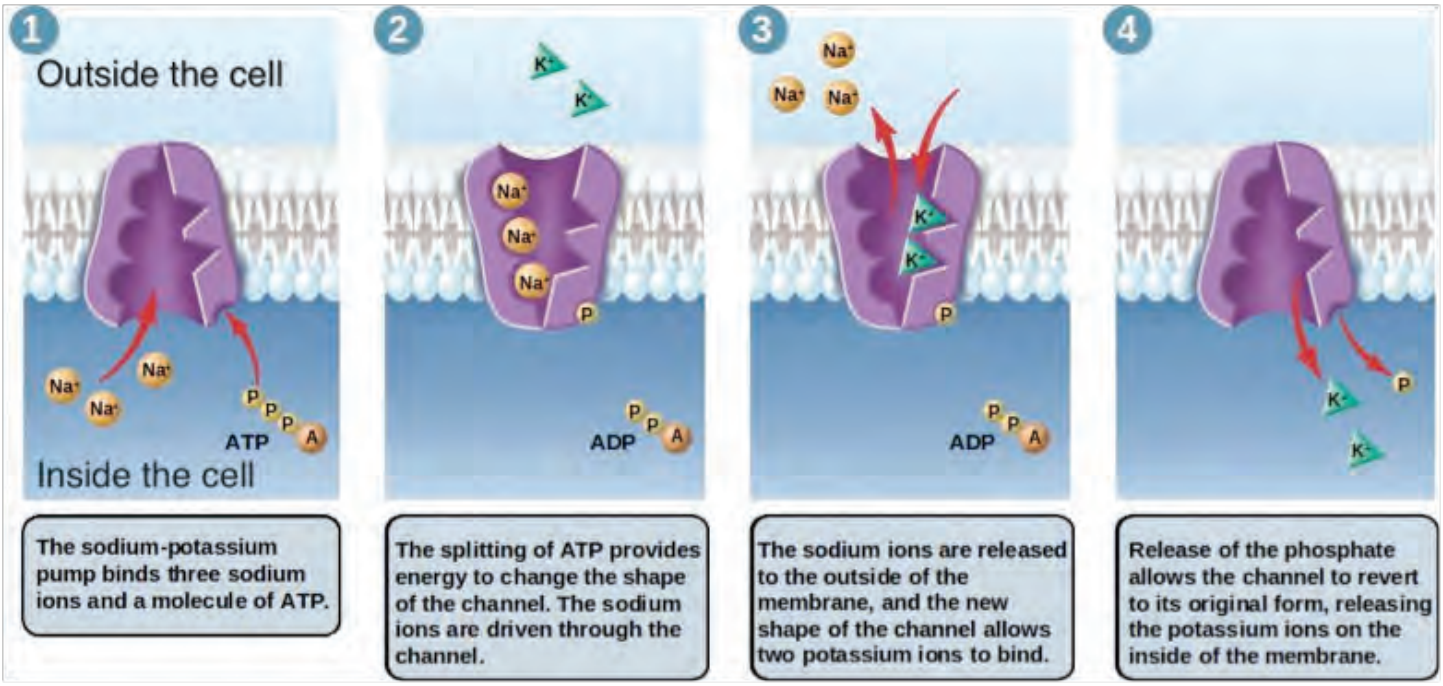


Figure 10: The Na+/K+ exchange pump moves 3 Na+ molecules out of the cell for every 2 K+ molecules it moves into the cell. This helps maintain the resting membrane potential.

of charge moving across its membrane (enabling the cell to use charge as a medium for sending information). The next question is: what constitutes a signal? And how exactly is that signal received, translated and sent?

The signal that a neuron sends is called an action potential, because it represents a charge difference (potential) that leads to action. This signal is initiated at a part of the neuron called the axon hillock, which contains a particularly high density of sodium channels (Figure 11); we will soon see why this is important. An action potential is generated when stimuli sent from other neurons and systems and received by the dendrites lead to the opening of enough ion channels at the axon hillock that the inside of the cell reaches the threshold potential, which is usually around -55 mV. (Recall the concept of thresholds from other primers: a threshold is the tipping point at which a system responds; just below the threshold, nothing happens, but at or beyond it, there is a response. Thresholds occur in all systems, biologic or not.)

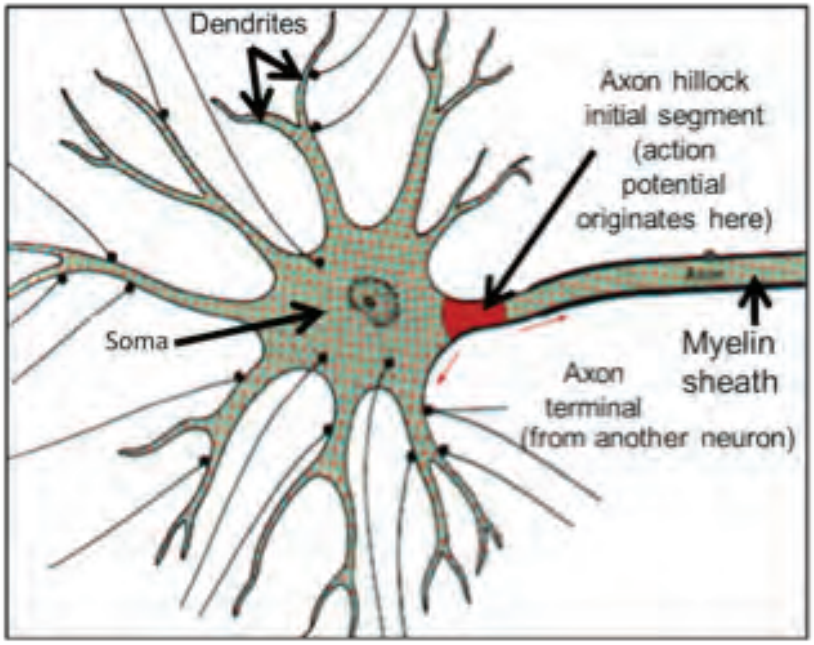
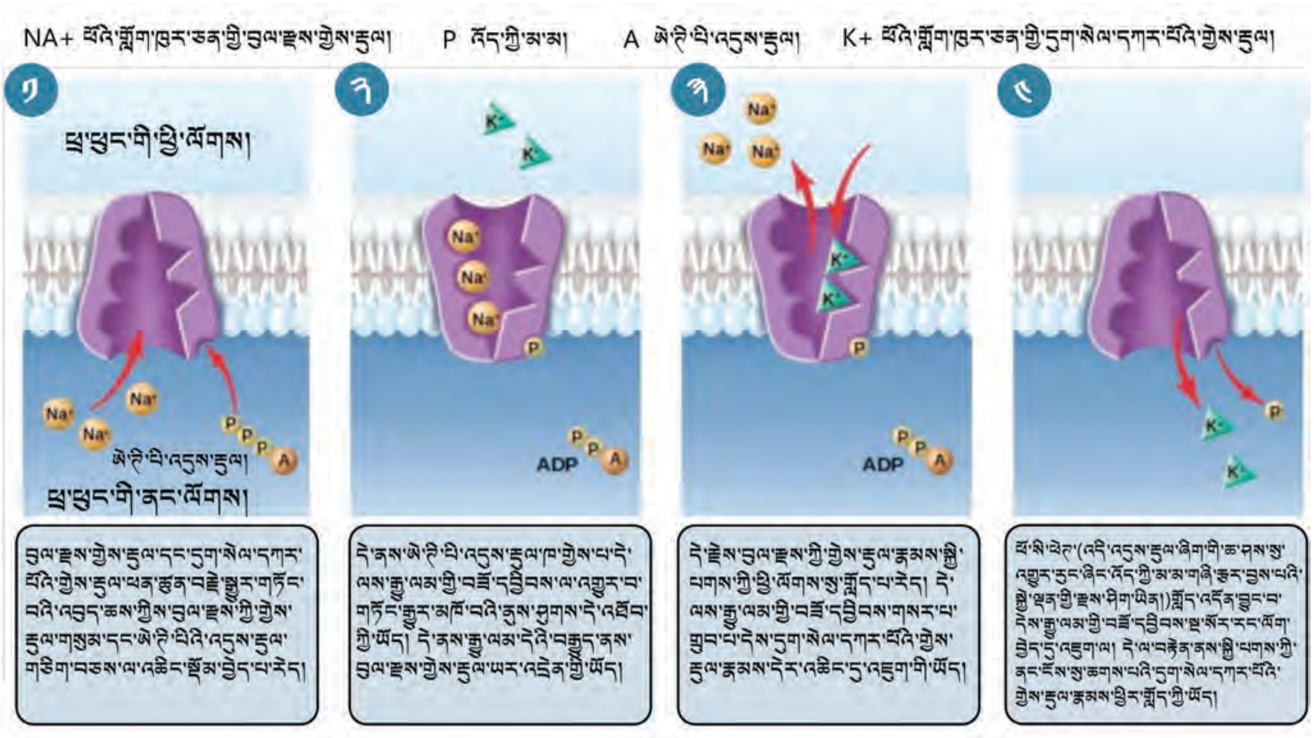


Figure 11: The axon hillock (highlighted in red), located where the axon arises from the cell body, is where an action potential originates.

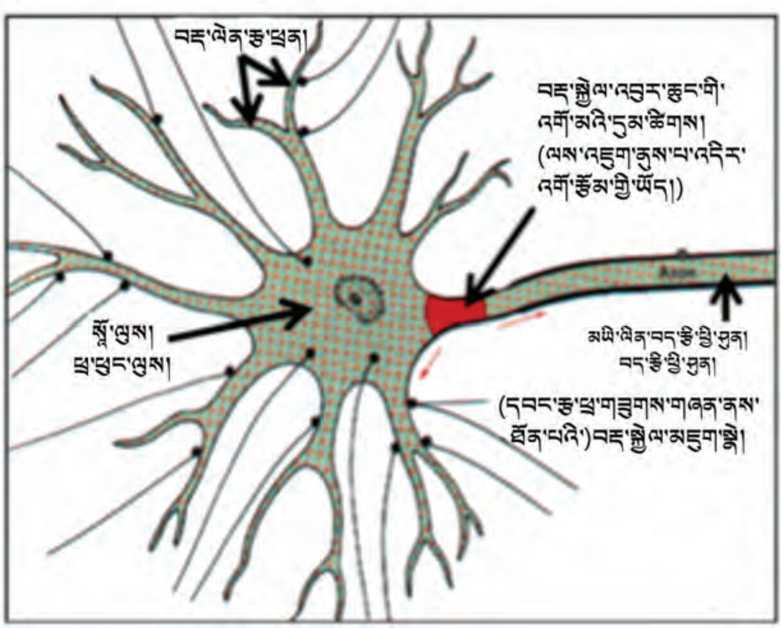
Once the membrane potential depolarizes (that is, becomes less negative) to the threshold potential, an action potential is triggered (Figure 12). Very quickly, within 1/1000 of a second, an action



དཔེ་རིས། ༡༠ བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་དང་དུག་སིལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་ཕན་ཚུན་བརྗེ་སྤྱུར་གཏོང་བའི་འབྱུང་ཆས་ཀྱིས་དུག་སིལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་གཉིས་རེ་ཕྲ་ཕུང་གི་ནང་རོལ་དུ་འདྲེན་གཏོང་བྱེད་པ་དང་མཉམ་དུ་བུལ་རྫས་ཀྱི་གྲེས་རྡུལ་གསུམ་ཕྲ་ཕུང་གི་ཕྱི་རོལ་ཏུ་འཕྱུལ་རྒྱག་གཏོང་བ་རེད། འདིས་སྐྱི་མོའི་བྱ་མེད་ནུས་པའི་གནས་བབ་རྒྱུན་འཛིན་ཐུབ་པར་ཕན་ཐོགས་བྱེད།

བ་ནི་འདི་ལྟ་སྟེ། བརྡ་འཕྲིན་ནི་གང་ཞིག་གིས་འགྲུབ་པ་ཡིན་ནམ། བརྡ་འཕྲིན་རྣམས་ཇི་ལྟར་ལེན་ཞིང་། ཇི་ལྟར་ཕབ་སྐྱུར་ཐེབས་པ་དང་། ཇི་ལྟར་གཏོང་བར་བྱེད་དམ། ཞེས་པ་འདི་དག་ཡིན།

དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་གིས་འདྲེན་གཏོང་བྱེད་པའི་བརྡ་འཕྲིན་དེར་ལས་འཁྲུག་ནུས་པ་ཟེར་བ་ཡིན་ཏེ། འདིས་དགོད་ཀྱི་འགྱུལ་སྐྱོད་གང་དེ་སྟོང་བར་བྱེད་པའི་གློག་ཁུར་གྱི་བར་ཁྱད་(ནུས་སྟོབས་)དེ་མཚོན་པའི་ཕྱིར། བརྡ་འཕྲིན་དེ་ནི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་ཆ་གང་ལ་བརྡ་སྐྱེལ་འཕྲུར་ཆུང་དུ་འཁོར་པ་དེར་འགོ་ཚུགས་ལ། ཆ་ཤས་དེར་བུལ་རྫས་རྒྱུ་ལམ་གྱི་སྟུག་ཚད་ལྷག་པར་དུ་མཐོ་པོ་ཡིན།(དཔེ་རིས། ༡༡) འདི་ཅི་འདྲའི་གལ་ཆེན་ཡིན་པ་ང་ཚོས་རིང་མིན་ཤེས་ངེས་རེད། དེ་ལ་ལས་འཁྲུག་ནུས་པ་ཞིག་བསྐྱེད་པའི་མཚམས་དེ་གང་ཞིག་ཡིན་ནམ་ཞེ་ན། ནམ་ཞིག་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་དག་དང་མ་ལག་གཞན་དག་གིས་བཏང་ཞིང་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་རྣམས་ཀྱིས་བླངས་པའི་སྐུལ་རྐྱེན་དེ་དག་ལ་བརྟེན་ནས་བརྡ་སྐྱེལ་འཕྲུར་ཆུང་མཚམས་ཀྱི་གྲེས་རྡུལ་རྒྱུ་ལམ་མང་ཙམ་ཞིག་ཁ་འབྱེ་བ་དང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ཕྲ་ཕུང་གི་ནང་ཆ་དེ་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པའི་རིམ་པར་སོན་པ་ན་ལས་འཁྲུག་ནུས་པ་ཞིག་བསྐྱེད་པ་ཡིན་ལ། དེ་ནི་རྒྱུན་དུ་མི་ལི་ཝོལ་ཚད་མོ་གྲངས་༥༥ (-55)སྙོར་ལ་སོན་པའི་སྐབས་ཤིག་ཡིན་ལགས། (སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཞན་རྣམས་སུ་བཤད་པའི་ཐེམ་མཚམས་ཀྱི་གོ་དོན་དེ་ཉིད་འདིར་དྲན་འོས་ཏེ། ཐེམ་མཚམས་ནི་འགྱུར་ལྡོག་གི་མཚམས་གང་ཞིག་ཏུ་མ་ལག་ཅིག་གིས་ཚུར་སྣང་ཐོག་མར་སྤྲིན་པའི་འགོ་རྩོམ་ས་དེ་ལ་ཟེར། དེ་ཡང་གང་ཅི་ཞིག་ཡིན་ཡང་ཐེམ་མཚམས་སུ་མ་སོན་བར་བྱ་འགྱུལ་གང་ལ་ཡང་མི་ཞུགས་ལ། དེར་སོན་ཙམ་མམ། ཡང་ན་དེ་ལས་བརྒལ་བ་ན་དེ་ལས་ཡ་ལན་གྱི་བྱ་འགྱུལ་རིགས་འཐོན་ངེས་ཡིན། ཐེམ་མཚམས་ཀྱི་རྣམ་གཞག་འདི་མ་ལག་གི་རིགས་ཀུན་ཏེ། སྐྱེ་དངོས་དང་འབྲེལ་མ་འབྲེལ་ཀུན་ལ་འབྱུང་བ་རེད།)



དཔེ་རིས། ༡༡ ཕྲ་ཕུང་ལུས་ཀྱི་མཚམས་གང་ཞིག་ནས་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་ཕྱིར་འབུ་ས་དེར་(ཚོན་མདངས་དམར་པོས་མཚོན་པ་དེ་)བརྡ་སྐྱེལ་འཕྲུར་ཆུང་ཟེར་ཞིང་། དེ་ནི་ལས་འཁྲུག་ནུས་པ་ཞིག་གི་ཐོག་མའི་འབྱུང་ས་དེ་རེད།

ནམ་ཞིག་སྐྱི་པགས་ཀྱི་ནུས་པའི་སྣེ་འཕྲུལ་རང་བཞིན་དེ་ཇེ་འདུས་དུ་ཕྱིན་(པ་སྟེ། གློག་ཁུར་མོའི་ཤས་ཆུང་དུ་ཕྱིན་)ཏེ་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པར་སོན་པ་ན། ལས་འཁྲུག་ནུས་པ་ཞིག་སད་པར་འགྱུར་ལ་(དཔེ་རིས། ༡༢)། དེ་ནས་མི་རིང་བར་སྐར་ཆའི་སྟོང་ཆ་གཅིག་གི་ནང་ཙམ་དུ་ལས་འཁྲུག་ནུས་པ་ཞིག་གིས་

potential produces a sharp rise in membrane potential to as high as +50 mV, which is a value determined by the sodium concentration gradient, which will be explained below. This spike is followed immediately by a sudden decrease in potential down to below the original resting potential, and in fact to a level even a little more negative than the resting potential (hyperpolarization). For a given neuron, the shape (form and extent) of its action potential is always the same. Neurons, then, may receive signals and depolarize slightly, but only if they depolarize enough and reach the threshold potential will they 'fire' an action potential.

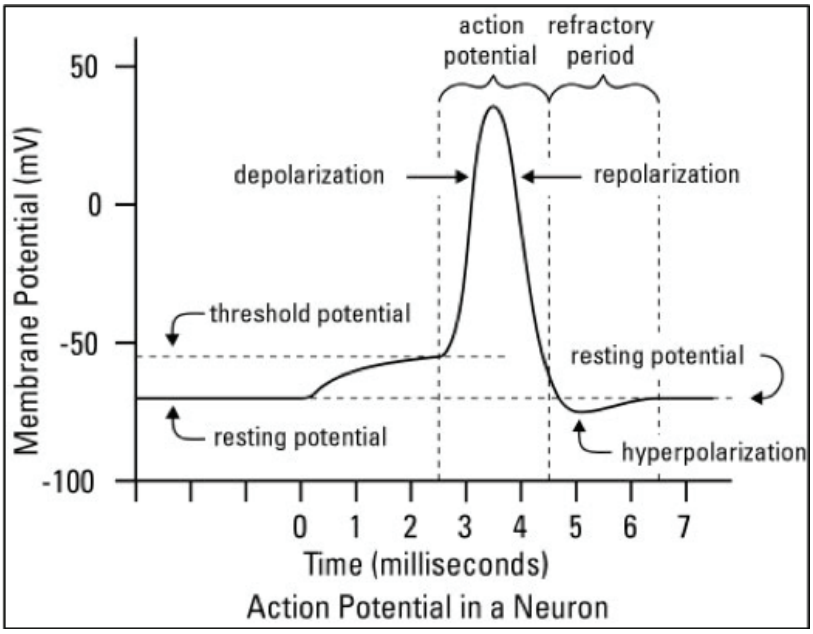
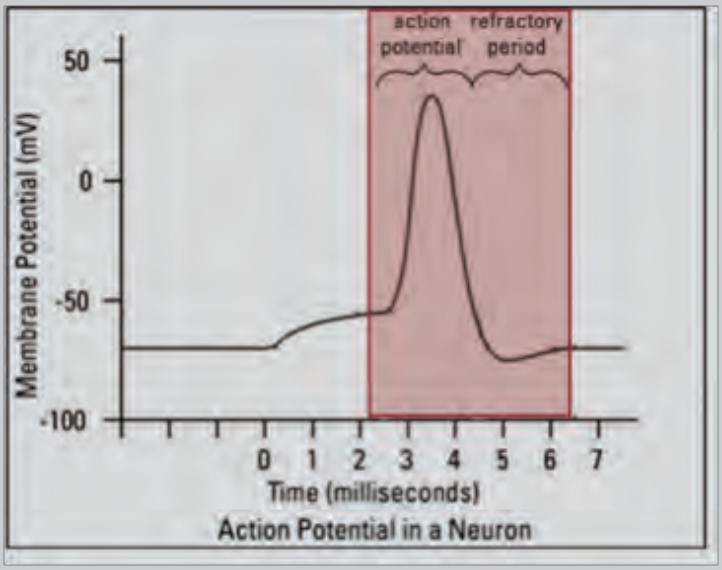
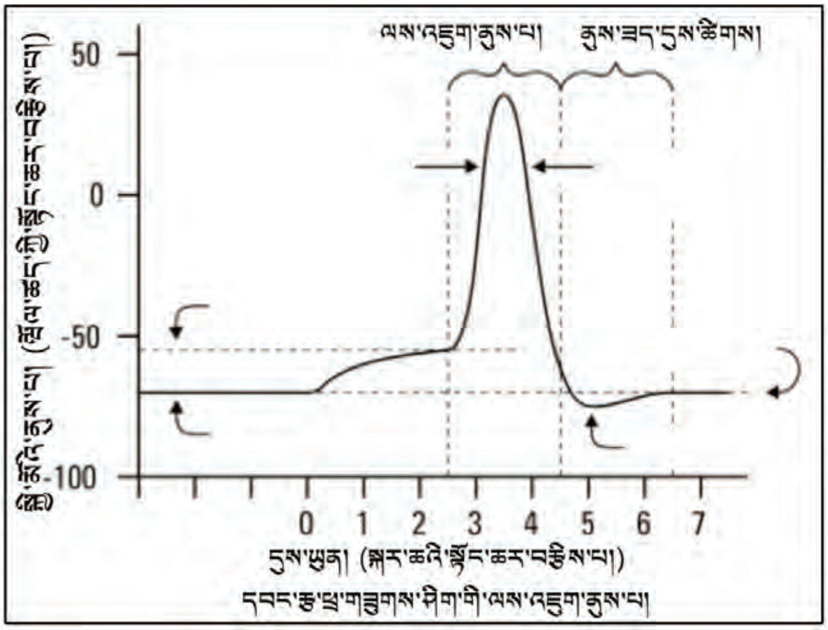


Figure 12: An action potential, shown as membrane voltage over time.

Box 3. IN DEPTH: THE IMPORTANCE OF A FAST RETURN TO REST



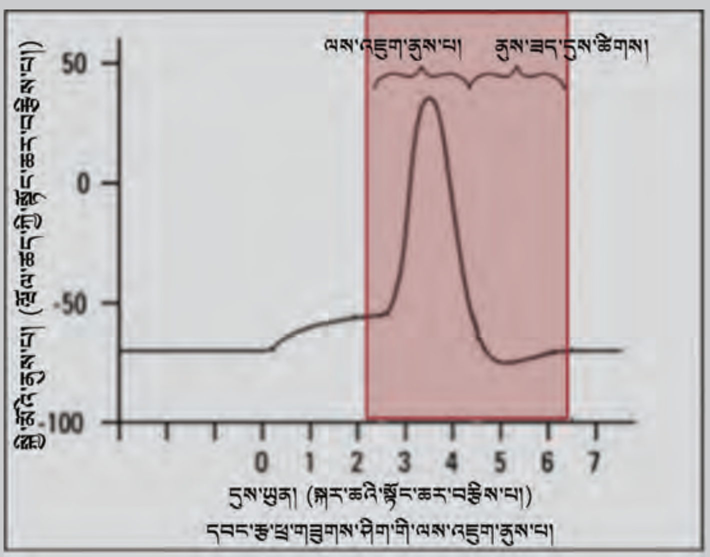
Let us think more about the dynamic process illustrated in figure 12. Notice the amount of time it takes the neuron to go from the onset of the action potential to the point when the resting potential is reached again, shown in the image to the left in the red box. Why is it important that this process be fast? As will be discussed in more detail later in this primer, the rate at which a neuron creates an action potential encodes crucial information about the stimulus that triggered the action potential, such as the intensity (e.g. temperature, pressure) or speed. The faster a neuron is capable of firing, the more potential the neuron has for encoding this type of information, and the more sensitive the information can be. To understand this, imagine how the ability to encode information would be compromised if, rather than the approximate 5 msec (5/1000 of a second), it took 500 msec (1/2 a second) to produce an action potential and return to the resting potential. Instead of a maximum rate of firing of 200 action potentials per second (1000ms/5ms), the neuron would only be able to generate 2 action potentials per second. To appreciate the effect of this difference, look at the scenario below and pay close attention to the variable rate of firing that is evident over the 2 second period of time plotted here. Now, imagine how the function of this neuron would be changed if it was only capable of firing twice each second.



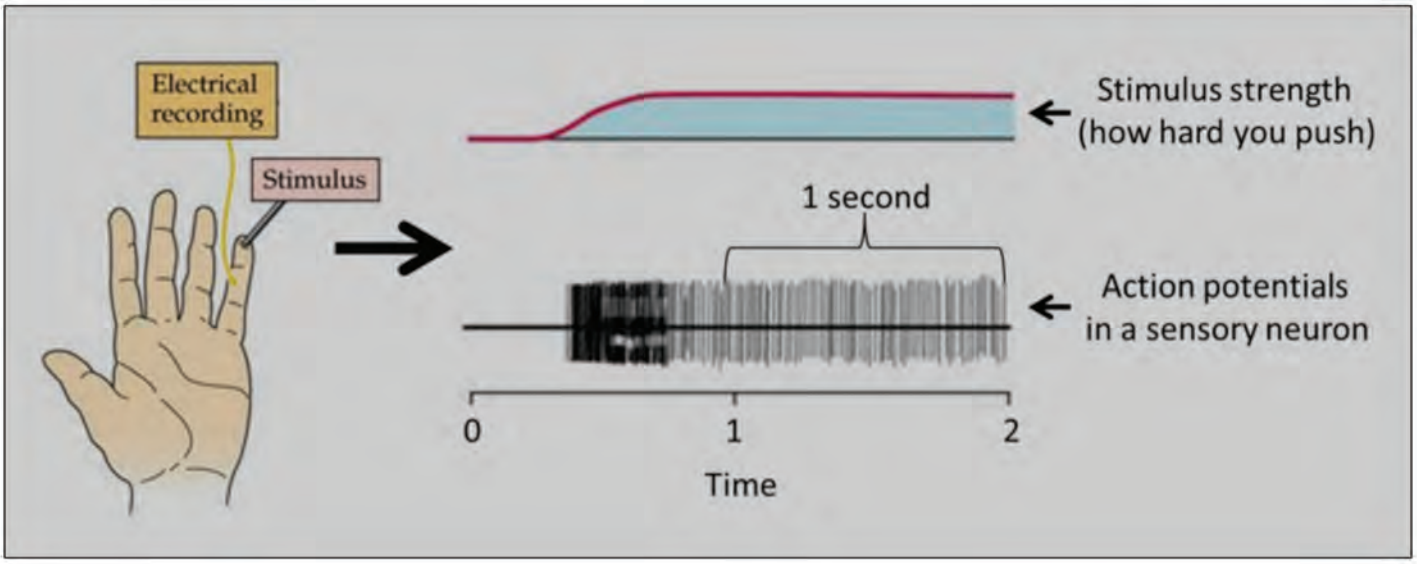
དཔེ་རིས། ༡༣ དུས་ཀྱི་རྒྱུན་ཐག་ཁྲོད་དུ་སྐྱི་མོའི་ནུས་པར་ཐོག་པའི་འགྱུར་བའི་ངོ་བོར་མཚོན་ནས་བསྟན་པའི་ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག

སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་གློ་བུར་དུ་མི་ལི་ཝོལ་ཊ་གྲངས་ ༥༠ (+50 mV) བརྒལ་བའི་བར་མཐོར་འདེགས་བྱས་པར་འགྱུར། དེ་ཡང་གྲངས་ཚད་འདི་ནི་བྱུལ་རྫས་གར་ཚད་གཟར་བབ་ཀྱིས་གཏན་འཁེལ་བྱེད་པའི་གནས་ཐང་ཞིག་ཡིན་ཞིང་། འདི་ཉིད་ང་ཚོས་གཡམ་དུ་འགྲེལ་བཤད་བྱའོ། །འཕར་ཁ་འདིའི་རྗེས་དེ་མ་ཐག་ཏུ་ནུས་པ་དེ་གློ་བུར་དུ་མར་ཆག་སྟེ་དང་ཐོག་གི་བྱ་མེད་ནུས་པའི་ཚད་ལས་ཀྱང་དམའ་བར་འགྱུར་བ་རེད། དེ་ནི་དོན་དངོས་སུ་བྱ་མེད་ནུས་པ་ལས་ཀྱང་མོ་གཤིས་ཙུང་ཟབ་པའི་བར་ཆག་པ་རེད།(ཚད་བརྒལ་སྣེ་འཕྲལ་གྱི་གནས་སྟངས།) དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་བྱེ་བྲག་པ་ཞིག་ལ་མཚོན་ན། དེའི་ལས་འཇུག་ནུས་པའི་བཀོད་པ་(སྒྲོམ་དང་རྒྱ་ཁྱབ་)ནི་དུས་རྟག་ཏུ་གཅིག་རང་ཡིན། རྗེས་སོར་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་དག་ལ་བརྡ་འཕྲིན་འགྲོར་བ་སྲིད་ཅིང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་དེའི་སྣེ་འདུམ་གྱི་གཤིས་ཀྱང་འཕེལ་བ་སྲིད། དེ་ལྟར་ནའང་དེ་ཡི་སྣེ་འདུམ་རང་གཤིས་ལྷིང་ངེས་སུ་འཕེལ་ཞིང་། དེའི་སྟོབས་ཀྱིས་དེ་ཉིད་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པའི་བར་བསྐྱལ་བའི་སྐབས་དེ་ཁོ་ནར་དེ་ཡིས་ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་"འཕེན"་པ་རེད།

སྒྲོམ་བུ་གསུམ་པ། གཏིང་ཟུགས་པའི་ལྟ་ཞིབ། བྱ་མེད་ཀྱི་གནས་བབ་ལ་འཕྲལ་དུ་ཕྱིར་ལོག་བྱེད་པའི་གལ་གནད།

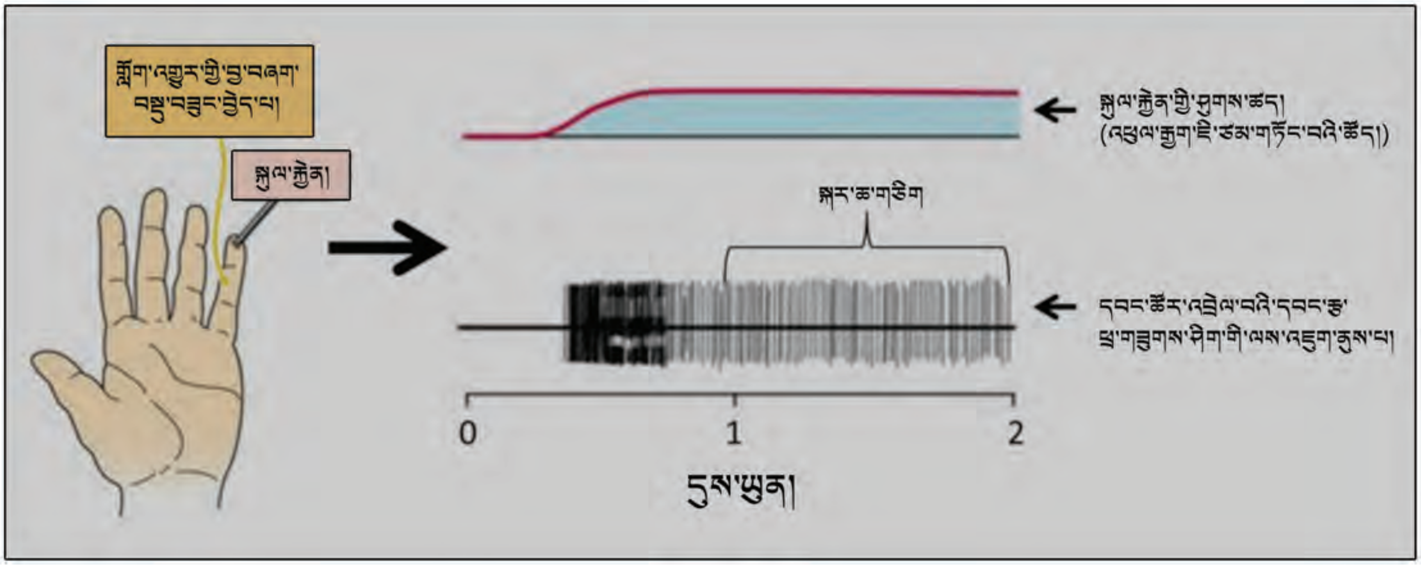


གོང་གི་དཔེ་རིས་ ༡༣ ནང་རིས་འགྲེལ་བྱས་པའི་འགྱུར་སྐྱིན་ཡང་བའི་བྱེད་རིམ་དེའི་སྐོར་ང་ཚོས་ད་དུང་བསམ་གཞིག་མང་ཙམ་ཞིག་བྱ། གཡོན་ངོས་སུ་གསལ་བའི་རིས་མོའི་ནང་གསེས་སྒྲོམ་བུ་དམར་པོའི་ནང་དུ་བསྟན་པ་བཞིན། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་ལ་ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་ཡར་སད་པ་ནས་བཟུང་ད་གཟོད་བྱ་མེད་ནུས་པ་ལ་ཐུག་གི་བར་དུས་ཚོད་ཇི་ཙམ་འགོར་བཞིན་པ་དེར་དོ་སྣང་བྱ་འོས། བྱེད་རིམ་འདི་མྱུར་པོར་འགྲུབ་དགོས་པ་འདི་གནད་ཆེ་ལུགས་ཇི་ལྟར་ཡིན་ནམ་ཞེ་ན། འདི་ཉིད་སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་འདིར་ཙུང་ཟད་ཞིབ་ཚགས་སུ་གྲོས་སྡུར་བྱ་རྒྱུ་བཞིན། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་གིས་འགྲོས་ཚད་ཅི་ཞིག་གི་ཚོད་ལ་ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་བསྐྱེད་པའི་གནས་བབ་དེས་ལས་འཇུག་ནུས་པ་དེ་ཉིད་སློང་བའི་སྐྱལ་རྐྱེན་དང་འབྲེལ་བའི་གནད་ཆེ་བའི་ཆ་འཕྲིན་ཏེ། དེའི་དྲག་ཚད་(དཔེར་ན། ཚ་དྲོད་དང་གནོན་ཤུགས་)དང་མགྱོགས་ཚད་ལྟ་བུ་བརྡ་སྤྲིག་བྱེད་པ་རེད། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་གིས་ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་ཇི་ཙམ་མགྱོགས་པར་འཕེན་ནུས་པ་དེ་ཙམ་གྱིས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེར་ཆ་འཕྲིན་དེ་རིགས་ལ་བརྡ་སྤྲིག་བྱེད་པར་ནུས་སྟོབས་ཆེ་བ་ཡོད་པ་དང་། དེའི་ཚོད་ཀྱིས་ཆ་འཕྲིན་དེ་དག་ནྟོ་དབལ་ཆེ་བར་གྱུར་པ་རེད། གནས་དོན་འདི་ཁོང་དུ་ཆུད་པར་འདི་ལྟར་བསམ་གཞིག་བྱེད་རིགས་ཏེ། གལ་ཏེ་ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་བསྐྱེད་པར་སྐར་ཆ་གཅིག་གི་སྟོང་ཆ་ལྔ་སྐོར་འགོར་བའི་ཚབ་ཏུ་ལས་འཇུག་ནུས་པ་དེ་བསྐྱེད་ནས་བྱ་མེད་ནུས་པ་ལ་ཕྱིར་ལོག་བྱེད་པའི་བར་སྐར་ཆ་གཅིག་གི་སྟོང་ཆ་ལྔ་བརྒྱ་(སྐར་ཆ་ཕྱེད་ཀ་)ཙམ་འགོར་བ་ཡིན་ན། དེས་ཆ་འཕྲིན་བརྡ་སྤྲིག་བྱེད་པའི་ནུས་པར་སྐབས་བསྟུན་དོ་ཕོག་ཇི་ཙམ་ཐེབས་སམ་ཞེ་ན། སྐར་ཆ་གཅིག་གི་ནང་(མི་ལི་སྐར་ཆ་ ༡༠༠༠ ལ་མི་ལི་སྐར་ཆ་ ༥ ཡིས་བགོས་པའི་འབྲས་ཐོབ་སྟེ་)ལས་འཇུག་ནུས་པ་ ༢༠༠ ཐམ་པ་འཕེན་པའི་མང་མཐའི་འགྲོས་ཚད་ཀྱི་ཚབ་ཏུ་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེས་སྐར་ཆ་གཅིག་གི་ནང་ལས་འཇུག་ནུས་པ་གཉིས་ཙམ་ཞིག་ལས་འཕེན་མི་ཐུབ། འདི་འདྲའི་ཁྱད་པར་གྱི་རྗེས་འབྲས་གང་འགྱུར་ཇི་ལྟ་བ་བཞིན་ཉམས་ཚོད་པའི་ཆེད་ཁྱོད་ཀྱིས་གཡམ་གྱི་གནས་སྟངས་ལ་ལྟོས་ལ། རིས་མོའི་ལམ་ནས་བསྟན་པའི་སྐར་ཆ་གཉིས་ཀྱི་རིང་ཐུབ་པའི་ལས་འཇུག་ནུས་པ་འཕེན་པའི་འགྲོས་ཚད་འཕེལ་འགྲིབ་ཀྱི་རྣམ་པར་ཞིབ་པར་དོ་སྣང་བྱོས། དེ་ནས་གལ་སྲིད་སྐར་ཆ་གཅིག་ནང་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་འདིས་འཕེན་ཐེངས་གཉིས་ཙམ་ལས་མ་ཐུབ་ཚེ་དེའི་བྱེད་ལས་ལ་འགྱུར་ལྡོག་ཇི་འདྲ་ཞིག་མངོན་ཚོག་མིན་ལ་བློས་བསླང་གྱིས།



Before we consider how an action potential has its effects and propagates its signal, let's walk carefully through the molecular details of what happens during an action potential. Together the many complex steps below all occur in just a few milliseconds! Follow each point below corresponding to Figures 12 and 13.

- First, remember the charge across the membrane rests at a negative potential (about -70 mV, see Figure 12) of inside versus outside the cell.
- The key ions to consider for generating an action potential are K+ and Na+. At rest, more Na+ is outside than inside the neuron, and more K+ inside than outside the neuron.
- Two types of voltage-gated channels—one for each of these ions—are in the membranes of the cell body and axon hillock of the neuron. These channels are called 'voltage-gated' because their shape changes so that they are 'open' or 'closed' based on the voltage (charge) across the membrane in their immediate environment.
- For an action potential to occur, the membrane potential must depolarize (become more positive) due to signals sent from other neurons; we will talk more about these signals later. As the inside of the neuron begins to depolarize because of these signals, voltage-gated sodium ion channels in the membrane open in response to the voltage change.
- At rest, more sodium is outside the cell than inside (creating a concentration gradient), and the inside of the cell is negative while sodium ions are positive (creating an electrical gradient). Thus, when sodium channels open, sodium rushes into the cell, due to the force of both its concentration and electrical gradients. Because sodium is a positive ion, the inside of the neuron becomes more positively charged as more sodium enters (Figure 13,#1).



ལས་འདུག་ནུས་པ་ཞིག་གི་མདུག་འབྲས་གང་དག་ཡིན་པ་དང་། དེས་རང་གི་བརྡ་འཕྲིན་ཇི་ལྟར་སྤེལ་ཚུལ་བཅས་ལ་བསམ་གཞིག་མ་བྱས་གོང་དེར། ལས་འདུག་ནུས་པ་ཞིག་གྲུབ་པའི་རིང་ལ་འདུས་རྟུལ་རིམ་པའི་གནས་སྟངས་ཞིབ་ཕྲ་ལ་ང་ཚོས་རྒྱུས་ལོན་ཞིག་བྱ། དེ་ཡང་དུས་ཡུན་སྐར་ཆའི་སྟོང་ཆ་ཁ་ཤས་ཙམ་ཞིག་གི་ནང་གཤམ་གསལ་རྩོག་འཛིང་ཅན་གྱི་བང་རིམ་འདི་དག་དུས་མཉམ་དུ་འགྲུབ་པས། དཔེ་རིས་ ༡༢ དང་ ༡༣ གཉིས་དང་འབྲེལ་བའི་གཤམ་གསལ་དོན་གནད་རྣམས་ལ་རེ་རེ་བཞིན་རྒྱུས་ལོན་བྱ་འོས།

- དང་པོར། ཕྲ་ཕུང་སྐྱི་མོའི་ཁྲོན་གྱི་(གློག་)ཁུར་གྱི་ཚད་གཞི་དེ་ཕྲ་ཕུང་གི་ཕྱི་ངོས་དང་ནང་ངོས་གཉིས་པོ་ཁ་འཐབས་པའི་འབྲས་ཐོབ་ཀྱི་མོ་གྲངས་ནུས་ཚད་ཅིག་ཏུ(འདི་ཚོད་རྩིས་བྱས་ན་མི་ལི་ཝོལ་ཚད་མོ་གྲངས་-70 སྐོར་ལ་འཁེལ་བ་རེད། དཔེ་རིས། ༡༢ ལ་ལྟོས།)སྔོད་པ་དེ་འདིར་ཕྱིར་དྲན་བྱེད་འོས།
- ལས་འདུག་ནུས་པ་བསྐྱེད་པར་འབྲེལ་ཆེ་བའི་གྲེས་རྡུལ་གཙོ་བོ་དག་ནི་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་དང་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་བུལ་རྫས་ཀྱི་གྲེས་རྡུལ་བཅས་ཡིན། དེ་ཡང་བྱ་མེད་ཀྱི་གནས་སྐབས་སུ་ནི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་ནང་ལོགས་ལ་ལྟོས་ཏེ་ཕྱི་ལོགས་སུ་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་མང་བ་ཡོད་པ་དང་། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་ཕྱི་ལོགས་ལ་ལྟོས་ཏེ་ནང་ལོགས་སུ་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྡུལ་མང་བ་ཡོད་པ་རེད།
- དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་བརྡ་སྐྱེལ་འབུར་ཚུང་དང་ཕྲ་ཕུང་ལུས་ཀྱི་སྐྱི་པགས་བཅས་སུ་ཞོལ་རྟེན་སྒོ་བཅད་རྒྱུ་ལམ་རིགས་གཉིས་ཡོད་ཅིང་། དེ་གཉིས་པོ་ནི་གོང་གསལ་གྲེས་རྡུལ་གཉིས་པོ་སོ་སོར་རེ་རེར་སྤྲེལ་ནས་ཡོད། རྒྱུ་ལམ་འདི་དག་ལ་ཞོལ་རྟེན་སྒོ་བཅད་ཞེས་སུ་འབོད་པ་ནི། རང་གི་ཉེ་འཁོར་གྱི་སྐྱི་པགས་ཁྲོན་གྱི་ཞོལ་ཚད་(གློག་ཁུར་)ལ་གཞིགས་ཏེ་འདི་དག་གི་བཀོད་དབྱིབས་འགྱུར་བ་ཐེབས་པའི་སྒོ་ནས་ཁ་འབྱེ་བའམ་འཛུམ་པར་བྱེད་པས་དེ་ལྟར་བཏགས།
- ལས་འདུག་ནུས་པ་ཞིག་སློང་བ་ལ་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་དག་ནས་བཏང་བའི་བརྡ་འཕྲིན་གྱི་དབང་གིས་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་དེའི་(ཕོ་ཤས་ཆེ་རུ་བཏང་བའི་སྒོ་ནས་)སྣེ་འཕྲུལ་གྱི་རང་གཤིས་ཚུར་འདུམ་དགོས། བརྡ་འཕྲིན་འདི་དག་གི་སྐོར་ཕྱིས་སུ་མང་ཙམ་གླེང་རྒྱུ་ཡིན། བརྡ་འཕྲིན་འདི་དག་ལ་བརྟེན་ནས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་ནང་ངོས་ཀྱི་སྣེ་ཤས་འདུམ་པ་ན། ཞོལ་ཚད་གྱུར་པའི་རྗེས་འབྲས་ལས་དེར་ཡ་ལན་གྱི་ཚུལ་དུ་སྐྱི་པགས་ནང་གི་ཞོལ་རྟེན་སྒོ་བཅད་ཀྱི་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་རྒྱུ་ལམ་དག་ཁ་འབྱེ་བ་རེད།
- བྱ་མེད་ཀྱི་གནས་སྐབས་སུ་ནི། བུལ་རྫས་མང་ཆེ་བ་ཕྲ་ཕུང་གི་ཕྱི་རོལ་ཏུ་ཡོད་པ་ལས་ནང་རོལ་ཏུ་དེ་ཙམ་མེད་ལ་(འདིས་གར་ཚད་གཟར་བབ་ཅིག་འགྲུབ་པར་བྱེད་)། དེ་དང་དུས་མཚུངས་སུ་གནས་སྐབས་དེར་ཕྲ་ཕུང་གི་ནང་ངོས་དེ་མོའི་གློག་ཁུར་ཅན་ཡིན་པ་དང་བུལ་རྫས་གྲེས་རྡུལ་རྣམས་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་དུ་གནས་པ་རེད་(འདིས་གློག་འགྱུར་གཟར་བབ་ཅིག་འགྲུབ་པར་བྱེད་)། དེས་ན། ནམ་ཞིག་བུལ་རྫས་རྒྱུ་ལམ་རྣམས་ཁ་བྱེ་བ་ན་གར་ཚད་དང་གློག་འགྱུར་གཟར་བབ་གཉིས་ཀའི་ཤུགས་ལ་བརྟེན་ནས་བུལ་རྫས་རྣམས་ཕྲ་ཕུང་གི་ནང་དུ་བྲེལ་འཚུབ་དང་རྒྱུག་འགྲོ། དེ་ཡང་བུལ་རྫས་ནི་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་གྲེས་རྡུལ་ཡིན་པས། བུལ་རྫས་ནང་དུ་བརྒྱུགས་པ་ལས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་ནང་རོལ་དེའི་པོའི་གློག་ཁུར་གྱི་གློག་ཤས་ཆེ་རུ་འགྲོ་བ་རེད།(དཔེ་རིས། ༡༣ ནང་གསེས། ༡)

- At this point, sometimes the change in charge from inside to outside is not enough to reach the threshold potential, and the cell returns to resting potential. But other times, the change in charge is sufficient to reach the threshold potential (Figure 12). The opening of sodium channels results in further depolarization, which results in even more sodium channels opening, and an action potential occurs.

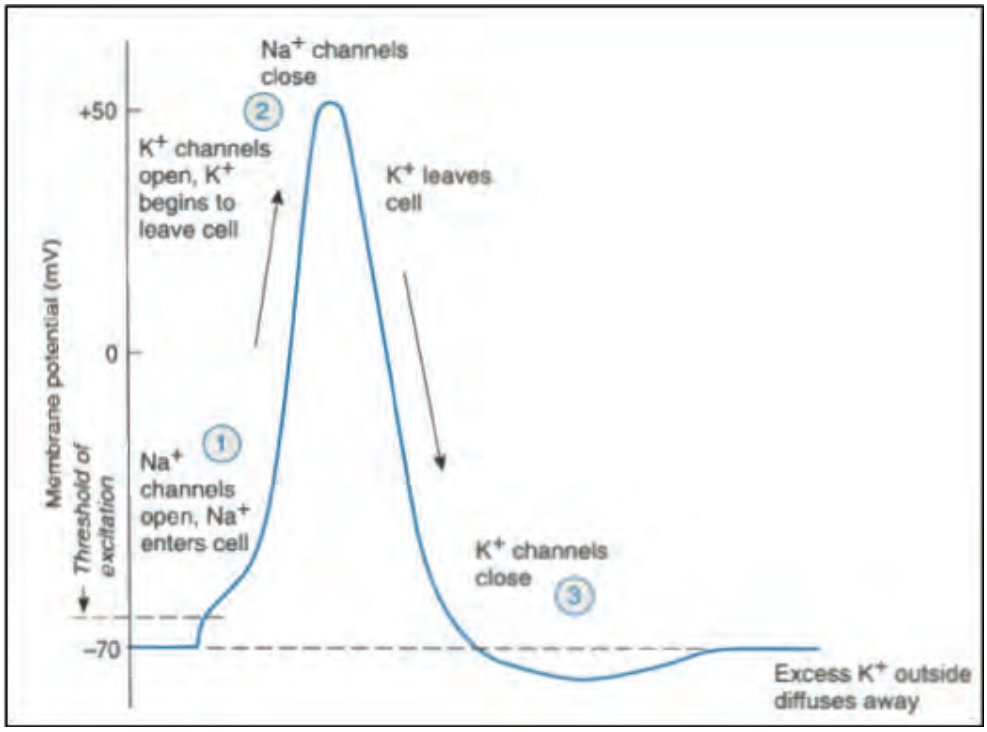
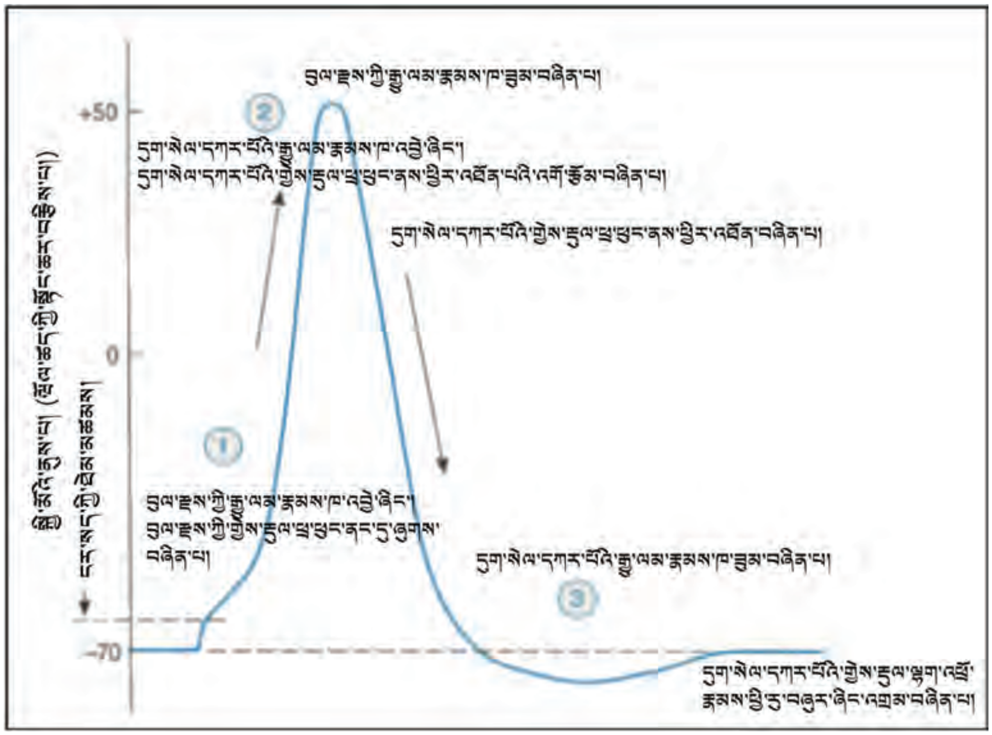


Figure 13: Several important stages of an action potential, shown by membrane voltage over time. See the points in the text for a description of each stage.

- The increased potential that causes the sodium channels to open in the first place also causes them to close, but more slowly than they open. This is a special mechanism of closing called inactivation. If you think of the opening of a channel as removing a plug in the channel, inactivation is a special kind of plug that is pulled into the channel by the positive membrane potential. After the sodium channels inactivate due to this process, no more ions can flow through the channel, and thus no further depolarization occurs (Figure 13, #2).
- At the same time, the depolarized potential also causes voltage-gated potassium channels to open. These channels, like the sodium channels, are sensitive to depolarization, but they are slower to react to voltage changes than are sodium channels. Remember that K+ is more concentrated inside the cell (concentration gradient) and now the membrane potential is quite positive (around +50 mV; electrical gradient). Thus, when K+ channels open at this point, K+ rushes out of the cell, following both its concentration and electrical gradients. As K+ leaves the cell (and with Na+ no longer moving into the cell), the membrane potential becomes more negative due to the loss of the positive ions.
- Because more potassium channels than usual are open after the action potential peak, the membrane potential drops, for a brief time, even below the resting potential (Figure 13, #3). This is called hyperpolarization (Figure 12).



དཔེ་རིས། ༡༣ ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་གིས་འཁྲིམ་རྒྱུའི་གལ་ཆེའི་དུས་རིམ་སྣ་མང་རྣམས་འདིར་དུས་ཀྱི་རྒྱུན་ཐག་ཁྲིད་སྐྱི་པགས་ཤོལ་ཚད་ཀྱིས་མཚོན་ནས་བསྟན་ཡོད། དུས་རིམ་སོ་སོའི་གོ་དོན་གང་ཡིན་ཤེས་ཆེད་དཀྱུས་སུ་གསལ་བའི་དོན་གནད་བསྡུར་བསྒྲིགས་རྣམས་ལ་ལྟོས།

- མཚམས་འདིར་སྐབས་རེ་ནང་ཕྱུག་ནས་ཕྱི་ཕྱོགས་སུ་བྱུང་བའི་(གློག་)ཁུར་གྱི་འགྱུར་བ་དེ་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པར་སོན་པའི་ཚད་དུ་མི་ཡོང་ཞིང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ཕྲ་ཕུང་དེ་ཉིད་བྱ་མེད་ནུས་པར་ཕྱིར་ལོག་བྱེད་འགྲོ། འོན་ཀྱང་སྐབས་གཞན་དུ་ནི་(གློག་)ཁུར་གྱི་འགྱུར་བ་དེ་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པར་སོན་པའི་ཚད་དུ་ཡོངས་ཤིང་།(དཔེ་རིས། ༡༢) ཏུལ་རྡུས་རྒྱུ་ལམ་ཁ་བྱེ་བས་(ཕྱི་ནང་དབར་གློག་ཁུར་གྱི་)སྣེ་འཕྲུལ་རང་གཤིས་རྗེ་འདུམ་དུ་འགྱུར་བ་དང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ཏུལ་རྡུས་རྒྱུ་ལམ་དཔུང་མང་དུ་ཁ་འབྱེ་བར་འགྱུར་ཞིང་། དེས་ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་བསྐྱེད་པ་རེད།
- ལས་འཇུག་ནུས་པའི་འཕེལ་འགྲོས་གང་ཞིག་གིས་ཐོག་མར་ཏུལ་རྡུས་རྒྱུ་ལམ་རྣམས་ཁ་འབྱེ་བར་རྒྱུ་བྱས་པ་དེ་ཉིད་ཀྱིས་ད་གཟོད་དེ་རྣམས་ཁ་རྒྱམ་པའི་རྒྱུ་འང་བྱེད་ལ། འོན་ཀྱང་སྐབས་དེ་དག་ཏུ་ཁ་འབྱེ་བའི་འགྲོས་དང་བསྡུར་ན་རྒྱམ་པའི་འགྲོས་དེ་བུལ་བ་ཡོད་པ་རེད། འདི་ནི་རྒྱམ་ཚུལ་གྱི་ལས་ཐབས་དམིགས་བཀར་བ་ཞིག་ཡིན་ཞིང་། ལས་ཐབས་དེ་ལ་གྲུང་ལོག་པ་ཟེར་བ་རེད། གལ་ཏེ་ཁྱོད་ཀྱིས་རྒྱུ་ལམ་ཞིག་གི་ཁ་འབྱེ་ཚུལ་དེ་རྒྱུ་ལམ་དེ་ལས་ཁ་ཏིག་ཅིག་ཕྱིར་བསལ་བའི་ཚུལ་དུ་བལྟས་ན། གྲུང་ལོག་པ་འདི་ཉིད་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་སྐྱི་མོའི་ནུས་པའི་བྱེད་པ་ལ་བརྟེན་ནས་ཁ་ཏིག་དམིགས་བསལ་ཅན་ཞིག་རྒྱུ་ལམ་དེའི་ནང་དུ་ཚུར་བརྒྱུང་པའི་ཚུལ་དུ་བལྟས་ན་ཆོག བྱེད་རིམ་འདི་ལ་བརྟེན་ནས་ཏུལ་རྡུས་རྒྱུ་ལམ་མི་གྲུང་བར་བྱས་པའི་རྗེས་སུ་རྒྱུ་ལམ་དེའི་བརྒྱུད་དུ་གློས་རྡུལ་སླར་ཡང་བཞུད་མི་ནུས་པར་འགྱུར་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ད་གཟོད་སྣེ་འཕྲུལ་རང་གཤིས་ཚུར་འདུམ་པ་སོགས་མི་བྱེད་པ་རེད།(དཔེ་རིས། ༡༣ ནང་གསེས། ༢)
- དེ་དང་དུས་མཉམ་དུ། སྣེ་འདུམ་བྱས་པའི་ནུས་པ་དེས་ཤོལ་རྟེན་སྒོ་བཅད་ཀྱི་ཏུག་སིལ་དཀར་པོའི་རྒྱུ་ལམ་དེ་དག་ཁ་འབྱེ་བའི་རྒྱུ་འང་བྱེད། ཏུལ་རྡུས་རྒྱུ་ལམ་དག་དང་འདྲ་བར་རྒྱུ་ལམ་འདི་དག་ཀྱང་སྣེ་འདུམ་བྱེད་རིམ་དག་ལ་ཚོར་ལན་སྐྱེན་པོ་ཡོད། འོན་ཀྱང་ཏུལ་རྡུས་རྒྱུ་ལམ་དག་དང་བསྡུར་ན་འདི་དག་ཤོལ་ཚད་འཕོ་འགྱུར་ལ་ལན་འདེབས་བྱེད་འགྲོས་བུལ་བ་ཡིན། འདིར་ཁྱོད་ཀྱིས་དྲན་དགོས་པ་འདི་ལྟར་ཡོད་དེ། ཏུག་སིལ་དཀར་པོའི་གློས་རྡུལ་ནི་སྤྱིར་ན་ཕྲ་ཕུང་ནང་ངོས་སུ་གར་ཚད་ཆེ་བ་(གར་ཚད་གཟར་བབ་)ཡོད་པ་དང་། ད་ལྟའི་ཆར་དེའི་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་དེ་ཙུང་ཟད་ཤས་ཆེ་བ་(མི་ལི་ཤོལ་ཚད་པོ་གྲངས་༥༠ སྐོར། གློག་འགྱུར་གཟར་བབ།)ཡོད་པ་དེ་རེད། དེས་ན་ནམ་ཞིག་ཏུག་སིལ་དཀར་པོའི་གློས་རྡུལ་རྒྱུ་ལམ་དེ་མཚམས་འདིར་ཁ་འབྱེ་བ་ན་ཏུག་སིལ་དཀར་པོའི་གློས་རྡུལ་དེ་ཉིད་རང་གི་གར་ཚད་དང་གློག་འགྱུར་གཟར་བབ་གཉིས་ཀ་དང་མཐུན་པའི་འགྲོས་སུ་ཕྲ་ཕུང་གི་ཕྱི་ཕྱོགས་སུ་ཕར་འཐོན་བྱེད། དེ་ལྟར་ཏུག་སིལ་དཀར་པོའི་གློས་རྡུལ་དེ་ཕྲ་ཕུང་གི་ཕྱི་རོལ་ཏུ་ཐོན་པས་(དེ་དང་ཆབས་ཅིག ད་ཆ་ཏུལ་རྡུས་གློས་རྡུལ་ཡང་ཕྲ་ཕུང་ནང་དུ་མི་བཞུད་པས་)པོའི་གློག་ཁུར་འཆང་བའི་གློས་རྡུལ་ཤོར་བ་དེའི་དབང་གིས་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་དེ་མོ་ཤས་ཆེ་བར་འགྱུར་བ་རེད།
- ལས་འཇུག་ནུས་པའི་འཕེལ་འགྲོས་རྩེ་མོར་སོན་རྗེས་རྒྱུན་གཏན་ལས་ཀྱང་གྲངས་མང་བའི་ཏུག་སིལ་དཀར་པོའི་རྒྱུ་ལམ་དེ་འདྲ་ཁ་བྱེ་བ་ལ་བརྟེན་ནས་དུས་ཡུན་ཐུང་ངུ་ཞིག་རིང་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་མར་ཆག་སྐྱེ་བྱ་མེད་ནུས་པའི་ཚད་ལས་ཀྱང་དམའ་བར་ཟག་ལ།(དཔེ་རིས། ༡༣ ནང་གསེས། ༣) འདི་ལ་ཚད་བརྒལ་སྣེ་འཕྲུལ་ཟེར་བ་རེད།(དཔེ་རིས། ༡༢)

- Finally, there is a refractory period (Figure 12) for the portion of the neuron's membrane that has just fired an action potential—a period when the voltage-gated sodium channels cannot react to depolarization again. Indeed, they need a period of hyperpolarization to become ready to open again.
- Once the action potential is complete, the membrane slowly returns to the resting membrane potential, due to the passive diffusion of K+ back into the cell. Remember that the Na+/K+ pump serves to maintain the proper concentration of Na+ and K+ ions inside the cell, so the concentration gradients remain stable.

Box 4. IN-DEPTH: NEUROTOXINS AND NEUROTRANSMISSION

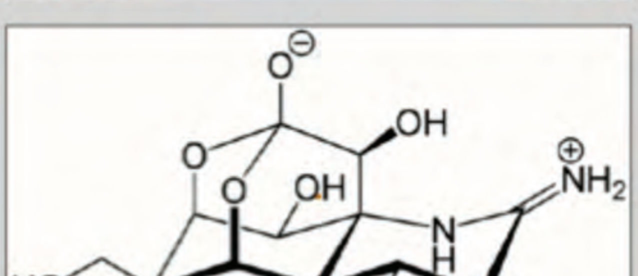
As we've seen many times in our science studies, one important way to understand how things work normally is to study them when they don't work normally. Many molecules that poison the nervous system, called neurotoxins, have in fact been very useful for studying neurotransmission. One neurotoxin comes from a fish called fugu, shown here, that can puff up with air to increase its size and scare off predators. Even though the fish is extremely toxic to humans—as it contains in its liver and ovaries the neurotoxin tetrodotoxin, whose structure is shown here—it is a very expensive delicacy at fancy restaurants throughout Japan. Special chefs require years of training to be able to effectively and safely prepare the fish by removing the organs containing the toxin.

PUFFERFISH AND TOXIN

Why is tetrodotoxin poisonous? The toxin binds to sodium channels on neural membranes, causing them permanently to close. Knowing what you now know about how action potentials work, what would this toxin do to neural signaling? In fact, tetrodotoxin stops all neural signal transmission, easily causing paralysis and eventual death in humans. Scientists have used this neurotoxin and others to help elucidate the electrical aspects of neurotransmission. Neurotoxins also have been useful in studying the chemical part of nerve signaling that occurs both between neurons and between neurons and muscle cells. Another illustrative example is the toxin from cobra venom, which is also fatal to humans. This toxin blocks the signaling between neurons and muscle cells, and thus paralyzes the heart and other muscles.

- དེ་ནས་མཐའ་མར། ལས་འདྲེག་ནུས་པ་ཞིག་འཕངས་མ་ཐག་ཡིན་པའི་དབང་རྩའི་སྐྱི་པགས་ཀྱི་ཆ་དེ་ལ་བརྟེན་པའི་ནུས་ཟད་དུས་ཚིགས་(དཔེ་རིས། ༡༢)ཟེར་བ་ཞིག་ཡོད། དེ་ནི་ཞོལ་རྟེན་སྒོ་བཅད་ཀྱི་བྱུལ་རྫས་རྒྱུ་ལམ་དག་གིས་སྣེ་འདུམ་བྱེད་རིམ་ལ་སླར་སྤེལ་སྒྱུར་བྱེད་མི་ཐུབ་པའི་དུས་ཚིགས་ཤིག་ཡིན། དེ་ལྟར་ཡིན་དགོས་པ་ཡང་། དེ་དག་ཕྱིར་ཞིང་ཁ་འབྱེ་ཐུབ་པ་འབྱུང་བར་ནི་ཚད་བཀག་སྣེ་འཕྲུལ་བྱེད་རིམ་གྱི་དུས་ཚིགས་ཤིག་ངེས་པར་མཁོ་བ་རེད།
- ནམ་ཞིག་ལས་འདྲེག་ནུས་པ་དེ་ཆ་རྫོགས་པ་ཞིག་ཏུ་གྱུར་པ་ན།   དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྟུལ་མདོན་ཚུང་དང་ཕྲ་ཕུང་ནང་དུ་ཁྲབ་འགྱེད་བྱེད་པའི་དབང་གིས་སྐྱི་པགས་དེ་བྱ་མེད་སྐྱི་མོའི་ནུས་པའི་གནས་བབ་ལ་དལ་བུར་ཕྱིར་ལོག་བྱེད་པ་རེད། འདིར་དྲན་དགོས་པ་ཞིག་ལ། པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་བྱུལ་རྫས་གྲེས་རྟུལ་དང་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྟུལ་པན་ཚུན་བརྗེ་རེས་ཀྱིས་འབྱུང་པ་རྒྱག་པ་ལས་ཕྲ་ཕུང་གི་ཁོག་ནང་དུ་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་བྱུལ་རྫས་གྲེས་རྟུལ་དང་པོའི་གློག་ཁུར་ཅན་གྱི་དུག་སེལ་དཀར་པོའི་གྲེས་རྟུལ་གྱི་གར་ཚད་རན་པོ་ཞིག་ཉར་སྐྱོང་བྱེད་ཐུབ་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་གར་ཚད་གཟར་བབ་རྣམས་བརྟན་པོར་གནས་ཐུབ་པ་རེད།

སྒྲོམ་བུ་བཞི་པ། གཉིད་རྩུགས་པའི་ལྷ་ཞིག དབང་རྩའི་ཉེས་དུག་དང་དབང་རྩའི་འཕྲིན་གཏོང་བྱ་བ།



ཉ་ཧྥུ་གུ་དང་ཉེས་དུག

ང་ཚོས་ཚན་རིག་གི་དབྱེ་ཞིབ་བྱ་བ་མང་པོའི་ནང་མཐོང་བ་བཞིན།   ཚོས་ཤིག་གི་རྒྱུན་ལྡན་ལས་ཚུལ་ཇི་ལྟར་ཡིན་པར་རྒྱུས་ལོན་བྱེད་པའི་ཐབས་ལམ་གཙོ་ཆེ་བ་ཞིག་ནི་ཚོས་དེ་ཉིད་རྒྱུན་ལྡན་ལྟར་ལས་ལ་མི་འདྲུག་པའི་སྐབས་དག་ཏུ་ཏོག་ཞིབ་བྱ་རྒྱུ་དེ་ཡིན། དབང་རྩའི་ཉེས་དུག་ཏུ་འབོད་པ་དབང་རྩ་མ་ལག་ལ་དུག་གཏོང་བའི་འདུས་རྫུལ་མང་པོ་ཞིག་དབང་རྩའི་འཕྲིན་གཏོང་བྱ་བར་དབྱེ་ཞིབ་བྱེད་པར་དངོས་འབྲེལ་ཏ་ཅང་ཕན་ཐོགས་བྱུང་ཡོད།   དབང་རྩའི་ཉེས་དུག་གཅིག་ནི་འདིར་བསྟན་པའི་"ཧྥུ་གུ"ཞེས་པའི་ཉ་དེ་ལས་འབྱུང་ལ།   ཉ་འདིས་རང་གི་རྡོན་བྱེད་བསྐྲོད་པའི་ཐབས་སུ་དབུགས་བརྒྱངས་ཏེ་རང་གི་བོངས་ཚད་རྒྱས་པར་བྱེད་ཀྱི་ཡོད།   སྤྱིར་ན་ཉ་དེ་མིའི་འགྲོ་བར་ཏ་ཅང་དུག་ཤེད་ཆེ་བ་ཞིག་ཡིན་པ་ནི།   དེའི་མཆིན་པ་དང་བསམ་བསེའུ་བཅས་སུ་ཏེ་ཊོ་ཊོ་ཉེས་དུག་ཏུ་འབོད་པའི་(དེའི་བཀོད་དབྱིབས་འདིར་གསལ་སྟོན་བྱས་ཡོད།)དབང་རྩའི་ཉེས་དུག་དེ་ལྡན་པས་རེད།   དེ་ལྟར་ནའང་ཉི་ཧོང་རྒྱལ་ཁབ་ཁྲོད་ཡོངས་སུ་ཟ་ཁང་བཀྲག་མདངས་འཚེར་བ་དག་ཏུ་ཉ་རིགས་འདི་ཉིད་ཏ་ཅང་རིན་ཐང་ཆེ་བའི་ཞིམ་ཟས་ཤིག་ཏུ་བརྩི་བཞིན་ཡོད།   འདིའི་མ་བྱུན་ཆེན་མོ་དམིགས་བསལ་བ་རྣམས་ཉ་དེའི་དུག་རྫས་ཡོད་པའི་དབང་པོ་རྣམས་བསལ་བའི་སྒོ་ནས་ཉ་ཟས་དེ་སྐྱོན་ཉེན་མེད་ཅིང་གོ་འཕེར་བར་བཟོ་བའི་སྦྱོང་བརྡར་ཆེད་ལོ་མང་འགོར་གྱི་ཡོད།

འོན་ཏེ་ཊོ་ཊོ་ཉེས་དུག་འདི་དུག་ཤེད་ཅན་དུ་གྱུར་པ་ཅིས་ཡིན་ནམ་ཞེ་ན།   ཉེས་དུག་དེ་དབང་རྩའི་སྐྱི་པགས་སྟེང་གི་བྱུལ་རྫས་རྒྱུ་ལམ་དག་ལ་འཆིང་ཞིང་སྡོམ་པས་རྒྱུ་ལམ་དེ་དག་གི་ཁ་གཏན་དུ་ཟུམ་པར་བྱེད་པ་རེད། ལས་འདྲེག་ནུས་པའི་ལས་ཚུལ་སྐོར་དུ་བར་ཁྲོད་ཀྱིས་གང་ཤེས་པ་དེ་གཞིར་བྱས་ནས། ཉེས་དུག་འདིས་དབང་རྩའི་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་འགྲོས་ལ་བྱེད་ནུས་ཅི་ཞིག་འདོན་ནམ་སྙམ་ན། དོན་དངོས་སུ་ནི། ཏེ་ཊོ་ཊོ་ཉེས་དུག་གིས་དབང་རྩའི་བརྡ་འཕྲིན་འདྲེན་གཏོང་གི་བྱ་གཞག་ཀུན་འགོག་ཅིང་། དེ་ཡིས་ལས་སྣ་པོར་གཞོགས་བྱེད་ནད་སྐྱོན་སློང་བའི་རྒྱུ་བྱེད་པ་དང་། ངེས་མཐར་དེ་བདག་སྐྱེ་བོ་དེ་རྐྱེན་འདས་སུ་གཏོང་གི་ཡོད། ཚན་རིག་པ་རྣམས་ཀྱིས་ཉེས་དུག་འདི་དང་གཞན་དག་བེད་སྤྱད་དེ་དབང་རྩའི་འཕྲིན་གཏོང་བྱ་བའི་གློག་འགྱུར་གནས་བབས་རྣམས་གསལ་སྟོན་བྱེད་རྒྱུར་རམ་འདེགས་ཐུབ་ཡོད། མ་ཟད། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ནང་པན་ཚུན་དང་།   ཡང་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དང་ཤ་གནད་ཕྲ་ཕུང་པན་ཚུན་དབར་འབྲུབ་པའི་དབང་རྩའི་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་འགྲོས་བྱ་གཞག་ཁྲོད་ཀྱི་རྫས་སྦྱོར་ཆ་ཤས་རྣམས་དབྱེ་ཞིབ་བྱེད་པར་དབང་རྩའི་ཉེས་དུག་འདི་དག་སྤྱོད་སྒོ་ཆེན་པོ་བྱུང་ཡོད།   གསལ་སྟོན་བྱེད་པའི་དཔེ་མཚོན་གཞན་ཞིག་ནི་ཀོབ་ར་དུག་སྦྲུལ་ལས་སོན་པའི་དུག་གཤེར་དེ་ཡིན་ཞིང་། འདི་ཡང་མིའི་རིགས་ལ་སྲོག་ཉེན་ཚབས་ཆེ་ཡོད་པ་ཞིག་ཡིན། ཉེས་དུག་འདིས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དང་ཤ་གནད་དབར་གྱི་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་འགྲོས་འགོག་པས་སྙིང་ཁམས་དང་ཤ་གནད་གཞན་རྣམས་ཞ་བར་བྱེད་ཀྱི་ཡོད།

Let's go back to the imaginary scene that began this primer. Is it possible that complex behaviors such as walking or empathizing with a child are made possible by emergent properties of these invisible ions and channels, proteins and genes, obscure and complex biophysical mechanisms? At first, it seems ridiculous, even impossible. But you, as scientists, who have studied evolution, development, physiology, genes and cells, should think carefully about this.

We have learned some ways to think about such big questions. What organ systems and organs are involved in these behaviors? (Surely, at least the nervous system—the brain, spinal cord and nerves.) What cells in these systems might be functionally responsible for the actions in the story? More generally, what, biologically speaking, is sensation, movement and even emotion? (Apparently it's a collection of signals from a set of neurons in response to an environmental signal.) What molecules in these neurons send the signals and how are they sent? (Here is where electricity and ions and proteins and milliseconds come in!) And so, it seems, there is a deep connection among ions, proteins and behavior. And, as you're learning, all these ideas can be tested experimentally. We design experiments in different organisms to see if our hypotheses and ideas are consistent with what we observe happening.

Now, do ions and neurons and electricity explain everything? Do they, on their own, fully account for complex behaviors like we see in our imaginary scene? The answer is probably not. At each level of the story, as we discussed in *LSP-I: Evolution*, there is the potential for new and emergent properties, characteristics that molecules or cells or systems manifest only when acting in combination with each other. For example, in this primer, we are not going to discuss the higher cognitive functions involved in our story, like emotion and motivation – these topics will be covered in later primers.

ACTION POTENTIAL PROPAGATION

Based on what we have learned thus far, we have a sense of how signals are initiated in the neurons of your body as you walked through the woods, tripped, heard and saw the boy, felt compassion for him, picked him up and carried him home. To better understand how neurons work, we need to understand two more crucial parts of the story, beyond what action potentials are and how they are formed. We should understand signaling on either side, so to speak, of the action potential. What exactly happens

ད་སྔར་ཡང་ང་ཚོ་སློབ་དེབ་འདིའི་འགོ་མའི་རྟོག་འཆར་གནས་སྐབས་དེར་ཕྱིར་ལོག་ཅིག་བྱ། གོམ་ཁ་གཏོད་པ་དང་། ཡང་ན་ཕྲུ་གུ་ཞིག་ལ་ཤ་ཚ་བྱེད་པ་ལྟ་བུའི་རྟོག་འཛིན་ཅན་གྱི་གཞིས་སྒྱོད་དེ་དག་ནི་མིག་ལ་སྣང་དུ་མེད་པའི་གྱེས་རྫུལ་དང་རྒྱུ་ལམ་ཁག་དང་། དེ་བཞིན་དུ། སྤྲི་རྫས་དང་རིགས་རྫས་སོགས་དང་། ལྐོག་ཏུ་གྱུར་ཅིང་རྟོག་འཛིན་ཆེ་བའི་ལུས་ཕུང་གི་སྐྱེ་ལྡན་ཐབས་འཕྲུལ་བཅས་ལས་གསར་ཐོན་ཁྱད་ཆོས་རྣམས་ཀྱིས་བསྐྱེད་པ་ཡིན་སྲིད་དམ། དེ་ལྟར་བསམ་གཞིག་བྱེད་སྐབས་དང་ཐོག་དེ་ལྟར་གཏན་ནས་ཡིན་བཟོར་མི་སྣང་ཞིང་། ཡིན་པ་གཏན་མི་སྲིད་པ་ལྟ་བུར་མངོན་ཚོག འོན་ཀྱང་ཁྲོད་ཉིད་དུ་བར་འཕེལ་འགྱུར་དང་། ལུས་ཀྱི་འཚར་འཕེལ། ལུས་ཁམས་རིག་པ། རིགས་རྫས་དང་ཕྲ་ཕུང་བཅས་ཀྱི་སྐོར་སྦྱངས་ཟིན་པའི་ཚན་རིག་པ་ཞིག་གི་ཆ་ནས་གོང་གསལ་དྲི་བ་དེར་བསམ་གཞིག་ནན་པོ་ཞིག་བྱ་འོས།

འདི་ལྟའི་དྲི་བ་ཆེན་པོ་དག་ལ་བསམ་གཞིག་བྱེད་ཕྱོགས་ཐད་ང་ཚོས་ད་བར་གང་འཚམས་ཤིག་སྦྱངས་ཟིན་ཡོད། གཞིས་སྒྱོད་འདི་དག་ལ་དབང་པོའི་མ་ལག་དང་དབང་པོའི་རིགས་གང་དང་གང་འབྲེལ་བ་ཡོད་དམ། (ཏན་ཏན་རང་གླད་པ་དང་། རྒྱུངས་པ། དབང་རྩ་བཅས་ཚུད་པའི་དབང་རྩ་མ་ལག་ནི་མ་མཐར་ཡང་འདིར་འབྲེལ་ངེས་ཡིན།) མ་ལག་འདི་དག་གི་ཕྲ་ཕུང་གང་དང་གང་གིས་ཕྱར་ཀྱི་བྱུང་བའི་ནང་གི་གཞིས་སྒྱོད་དག་དང་འབྲེལ་བའི་བྱེད་ལས་རྣམས་ལ་ཁག་ཐེག་བྱེད་དམ། ཡང་། སྤྱིར་བཏང་སྐྱེ་དངོས་གནས་ལུགས་ཀྱི་ཆ་ནས་བཤད་ན་ཚོར་སྣོང་དང་། འགྱུལ་སྐྱོད། སེམས་སྤྱོད་བཅས་པ་གང་ཞིག་ཡིན་ནམ། (མཐོང་ཆོས་ལྟར་ན། འདི་དག་ནི་ཁོར་ཡུག་ནས་ཐོབ་པའི་བརྡ་འཕྲིན་ལ་ཡ་ལན་གྱི་ཚུལ་དུ་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་ཚོགས་ཤིག་གིས་གཏོང་བའི་བརྡ་འཕྲིན་གྱི་ཚོགས་ཤིག་ཡིན་ཚོད་འདུག) དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་འདི་དག་ལ་ཡོད་པའི་འདུས་རྫུལ་གང་གིས་བརྡ་འཕྲིན་དེ་དག་གཏོང་བར་བྱེད་དམ། དེ་དག་གིས་ཇི་ལྟར་གཏོང་ངམ། (ལྐོག་དང་། གྱེས་རྫུལ། སྤྲི་རྫས། མི་ཡི་སྐད་ཆ་བཅས་པ་རྣམས་གནས་དོན་འདི་དག་དང་འབྲེལ་བ་ཡོད།) དེས་ན་གྱེས་རྫུལ་དང་སྤྲི་རྫས་དང་གཞིས་སྒྱོད་བཅས་ཀྱི་དབར་འབྲེལ་བ་གཏིང་ཟབ་ཡོད་པར་མངོན་པས། འདི་དག་སྐོར་ཁྲོད་ཀྱིས་ཤེས་སྦྱོང་བསྟེན་བཞིན་དུ་རིག་པ་འདི་རྣམས་ལ་དངོས་བཤེར་བརྟག་དཔྱད་ཀྱང་བྱེད་འཐུས། ང་ཚོས་གང་མཐོང་ཞིང་སྤྱོད་བ་དག་དང་། ང་ཚོས་གང་ལ་ཚོད་ལྟ་བྱེད་པ་དང་གང་འདོན་པའི་རིག་པ་རྣམས་ཕན་ཚུན་འགྲིག་མིན་བལྟ་བའི་ཆེད་དུ་སྐྱེ་ལྡན་སྲོག་ཆགས་མི་འདྲ་བའི་ཐོག་བསྒྲུབ་རུང་བའི་བརྟག་དཔྱད་ཀྱི་བཀོད་པ་སྒྲིག་གཤོམ་བྱེད་འོས།

ད་བྱས་ན། གྱེས་རྫུལ་དང་། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དང་། ལྐོག་བཅས་ཀྱིས་ཡོད་ཚད་ལ་འགྲེལ་བཤད་རྒྱག་ཐུབ་བམ། ཅེ། འདི་དག་གིས་སྔར་གྱི་རྟོག་བཟོའི་གནས་སྐབས་དེར་ཐོན་པའི་རྟོག་འཛིན་ཅན་གྱི་གཞིས་སྒྱོད་རྣམས་དཔྱིས་ཕྱིན་པར་བཀྲོལ་བཤད་བྱེད་ཐུབ་བམ་ཞེ་ན། ཕལ་ཆེར་འདིའི་ལན་དུ་དེ་ལྟར་མི་ཐུབ་ཅེས་བརྗོད་རིགས། དེ་ནི་ང་ཚོས་སྔར་‘འཕེལ་འགྱུར’མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོའི་ནང་གླེང་བ་བཞིན། གོང་གསལ་བྱུང་བ་དེའི་རིམ་པ་རེ་རེར་ཡང་གསར་ཐོན་ཁྱད་ཆོས་གསར་པ་སྐྱེ། འདུས་རྫུལ་དང་ཕྲ་ཕུང་དང་མ་ལག་བཅས་པ་ཕན་ཚུན་མཉམ་འདུས་ཀྱིས་ལས་ལ་ཞུགས་པའི་སྐབས་ཁོ་ནར་ཕྱིར་འབྱུས་པའི་མཚན་ཉམ་དེ་འདྲ་འགྲུབ་པའི་དམིགས་སྒོ་ཡོད་པས་རེད། དཔེར་ན། སློབ་དེབ་འདིར་དངོས་སུ་གྲོས་གཞིར་འཛིན་རྒྱུ་མིན་ཡང་། སེམས་སྤྱོད་དང་ཀུན་སློང་ལྟ་བུ་གོང་གསལ་བྱུང་བ་དེ་ག་དང་འབྲེལ་བའི་རིམ་པ་མཐོ་བའི་ཤེས་རྟོགས་ཀྱི་བྱེད་ལས་ཡོད་པ་དང་འདྲ་མཚུངས་རེད། འདི་དག་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་ཕྱི་མ་རྣམས་སུ་གླེང་བར་བྱའོ།།

ལས་འཛུག་ནུས་པ་བརྒྱུད་གཏོང་བྱེད་ཚུལ།

ང་ཚོས་ད་བར་གང་སྦྱངས་པ་རྣམས་གཞིར་བྱས་ན། ང་ཚོ་ནགས་གསེབ་ཤིག་ཏུ་བགྲོད་པ་དང་། དེར་རྐང་ཐོགས་རྒྱབ་པ་དང་། ཙུ་སྐད་གོ་ཞིང་ཕྲུ་གུ་མཐོང་བ་དང་། དེར་སྙིང་རྗེ་སྐྱེས་པས་པང་པར་བླངས་ནས་ཁྱིམ་དུ་དྲངས་པ་བཅས་ཀྱི་སྐབས་ང་ཚོའི་ལུས་པོའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གི་ནང་བརྡ་འཕྲིན་འཕོན་པའི་འགོ་རྗེ་ལྟར་རྩོམ་མིན་ཐད་ང་ཚོར་ད་ཆ་གོ་བ་ཞིག་ཆགས་ཡོད། འོན་ཀྱང་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གི་ལས་ཚུལ་དེ་བས་འཐུས་ཚང་བར་ཤེས་པར་ནི། ལས་འཛུག་ནུས་པ་རྣམས་གང་ཞིག་ཡིན་མིན་དང་། དེ་དག་ཇི་ལྟར་འགྲུབ་ཚུལ་ཤེས་པ་ལས་བརྒལ་ནས། བྱུང་བ་འདི་དང་འབྲེལ་བའི་གནད་དོན་འགག་ཆེན་པོ་གཞན་གཉིས་ལ་གོ་རྟོགས་ལོན་དགོས། ལས་འཛུག་ནུས་པའི་ངོས་གཉིས་ཟེར་ནའང་ཆོག་པའི་ཁ་ཕྱོགས་གཉིས་པོ་རེ་རེར་བརྡ་འཕྲིན་འདྲེན་གཏོང་གི་བྱ་བ་འགྲུབ་ཚུལ་སྐོར་ང་ཚོས་རྒྱུས་ལོན་བྱེད་དགོས། དེ་ནི། དོན་ངོ་མར་གང་ཞིག་གིས་ལས་འཛུག་ནུས་པ་ཞིག་སློང་དམ། དབང་རྩའི་སྐྱེ་པགས་ཀྱི་ཆ་ཤས་ཆུང་ངུ་ཞིག་གི་ཁོང་དུ་བསླངས་པའི་ལས་འཛུག་ནུས་པ་དེ་ཉིད་མཐར་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་ཞིག་ལ་ཇི་ལྟར་དྲང་ངམ་

to lead to an action potential and how does the action potential, which happens in one small part of the neuron's membrane, get passed on to other neurons? The two questions are related. Let's start with the latter one first: how does the action potential pass on its information? That is, how does the initial action potential 'translate' into a signal that moves down the axon—a process known as propagation--and then get passed to the next cell?

Two concepts are important in comprehending the mechanism of nerve electrical signal propagation:

(1) Propagation is unidirectional: during the refractory period, the part of the axon that just underwent an action potential can't depolarize again until the sodium channels are ready to activate again (Figure 12). Because action potentials are generated at the axon hillock, the 'charge signal' provided by the action potential cannot go in both directions, but only in one direction—away from the neuron soma and down the axon.

(2) The individual action potential is always the same for a particular neuron. That is, the nature of the activation potential depends on the neuron, its membrane and its membrane proteins, not on the strength of the signal the neuron receives. This is known as the all-or-none principle—a neuron either fires (depolarizes) or it doesn't. When it fires, it always does so to the same extent.

Once an initial action potential occurs, the resulting charge spreads out in both directions from the starting point. But, as noted, only the neighboring membrane on one side of the axon hillock can respond because the other side is in a refractory period. The action potential now has moved to this neighboring patch of axon membrane and the signal continues in this way, as a wave, all the way to the end of the axon. Importantly, the axon is surrounded by a sheath of lipid (fat) called myelin, which insulates the axon, keeping the electrical current of the action potential from dissipating. Because of the all-or-none principle, the signal does not diminish as it moves, but is just as strong at the end of the axon as when it was initiated at the axon hillock (Figure 14).

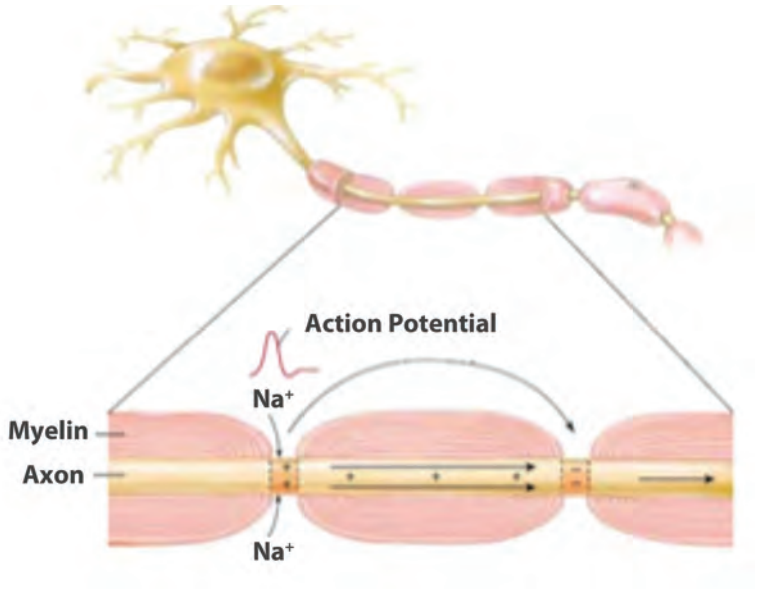


Figure 14: An action potential does not diminish as it moves down the axon – it is renewed at each new patch of membrane.

ཞེས་པ་ཡིན། དྲི་བ་གཉིས་པོ་འདི་དག་ཕན་ཚུན་འབྲེལ་བ་ཡོད། ང་ཚོས་དྲི་བ་ཕྱི་མ་སྔོ། ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་དེས་རང་གི་ཆ་འཕྲིན་དེ་གཞན་དག་ལ་ཇི་ལྟར་འདྲེན་གཏོང་བྱེད་དམ་ཞེས་པའི་དྲི་བ་ནས་འགོ་རྩོམ་ན་འདོད། དེ་ནི་ཐོག་མའི་ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་དེ་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་སྣན་རྒྱུད་དུ་བགྲོད་པའི་བརྡ་འཕྲིན་ཞིག་ཏུ་"ཕབ་འགྱུར"ཇི་ལྟར་ཐེབས་པ་(འདི་ལ་བརྒྱུད་གཏོང་བྱེད་རིམ་ཞེས་སུ་འབོད་)དང་། དེ་ནས་སྣ་ཕུང་རྫེས་མ་ཞིག་ལ་ཇི་ལྟར་བརྫང་དམ་ཞེས་དྲི་བ་འདོན་པ་རེད།

དབང་རྩའི་གློག་འགྱུར་བརྡ་འཕྲིན་བརྒྱུད་གཏོང་བྱེད་ཚུལ་ཁོང་དུ་ཆུད་པར་ནི་གཞམ་གསལ་གྱི་ལྟ་ཚུལ་གཉིས་པོ་དེ་གནད་ཆེ།

༡) བརྒྱུད་གཏོང་བྱེད་རིམ་ནི་ཁ་ཕྱོགས་གཅིག་ཅན་རེད། དེའི་དོན་ནི་ཤུགས་གསོ་དུས་ཡུན་གྱི་རིང་ལ་ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་བསྐྱེད་ཚར་ཙམ་ཡིན་པའི་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་སྣན་གྱི་ཆ་དེ་བྱུལ་རྗེས་རྒྱུ་ལམ་རྣམས་བསྐྱར་ནས་ཡར་སད་པའི་ཨང་གསར་མ་གྲུབ་ཀྱི་བར་དུ་རང་གི་སྣེ་འཕྲུལ་རང་གཤིས་བསྐྱར་ནས་ཚུར་འདུམ་མི་ཐུབ་(དཔེ་རིས། ༡༣)ཅེས་པ་ཡིན། དེ་ཡང་ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་རྣམས་བརྡ་སྐྱེལ་འབུར་ཆུང་དུ་བསྐྱེད་པ་ཡིན་པས། ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་དེས་བཏོན་པའི་"(གློག་)ཁུར་བརྡ་འཕྲིན་"དེ་ཁ་ཕྱོགས་གཉིས་ཀར་བགྲོད་མི་ཐུབ་པར། ཁ་ཕྱོགས་གཅིག་ཁོ་ནར་བགྲོད་ལ། དེ་ཡང་དབང་རྩ་སྦ་གཟུགས་ཀྱི་སྨྱོ་ལུས་(སམ་སྦྲ་ཕུང་ལུས་)ནས་ཐག་རྒྱང་དུ་བགྲོད་དེ་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་སྣན་རྒྱུད་དུ་མར་རྒྱུག་པ་རེད།

༢) དབང་རྩ་སྦ་གཟུགས་ངེས་བཟུང་ཞིག་གིས་སད་སློང་བྱས་པའི་ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་རྣམས་རེ་རེ་ནས་དུས་རྟག་ཏུ་ཕན་ཚུན་གཅིག་གྱུར་རང་ཡིན། དེའི་གོ་དོན་ནི་འདི་ལྟ་སྟེ། སད་སློང་བྱ་བའི་ཤུགས་པ་དེ་དབང་རྩ་སྦ་གཟུགས་དེ་རང་དང་། དེའི་སྐྱི་པགས་དང་། དེའི་སྐྱི་པགས་སྤྱི་རྫས་བཅས་ལ་རག་ལས་པ་ཡིན་གྱི། དབང་རྩ་སྦ་གཟུགས་དེར་འགྲོར་བའི་བརྡ་འཕྲིན་གྱི་ཤེད་ལ་རག་ལས་པ་མིན། འདི་ལ་"ཆ་ཚང་དམ་གཏན་མེད་ཀྱི་རྩ་འཛིན་"ཞེས་མིང་འདོགས་བྱེད་དེ། དབང་རྩ་སྦ་གཟུགས་ཤིག་གིས་(རང་གི་སྣེ་འཕྲུལ་རང་བཞིན་ཕྱིར་འདུམ་པའི་སྐོར་ནས་)(ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་ཞིག་)འཕེན་པའམ། ཡང་ན་གཏན་མི་འཕེན་པའི་དོན་སྟོན་ཆེད་ཡིན། དེ་ཡང་གལ་ཏེ་དེས་འཕེན་པའི་ཚེ། དེས་དཔངས་ཚད་གཅིག་རང་དུ་འཕེན་པ་རེད།

དཔེ་རིས། ༡༩ ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་གང་འདྲ་ཞིག་ཡིན་ཡང་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་སྣན་གྱི་རྒྱུད་དུ་མར་རྒྱུག་བཞིན་དུ་ཉམས་ཆག་མི་འགྲོ་བར་མ་ཟད། སྐྱི་པགས་ཀྱི་དུམ་བུ་རེ་རེའི་མཚམས་སུ་དེ་ཉིད་ལ་བསྐྱར་གསོ་ཡང་ཐེབས་པ་རེད།

ཐོག་དང་པོའི་ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་ཞིག་ལན་གཅིག་གྲུབ་པ་ན། དེའི་མཇུག་འབྲས་སུ་ཐོན་པའི་(གློག་)ཁུར་དེ་གང་ནས་ཐོན་པའི་མཚམས་དེ་ནས་ཁ་ཕྱོགས་གཉིས་ཀར་འགྲམ་ནས་འགྲོ་ལ། དེ་ལྟར་ནའང་། གོང་དུ་བཤད་པ་བཞིན། བརྡ་སྐྱེལ་འབུར་ཆུང་དེའི་ཕྱོགས་གཅིག་ལ་འཁོད་པའི་ཉེ་འབྲིས་ཀྱི་སྐྱི་པགས་གཅིག་ཕུས་དེར་ཡ་ལན་སྤྲོད་ཐུབ་པ་ནི། ཕྱོགས་གཞན་དེ་ཤུགས་ཟད་དུས་ཚིགས་སུ་འཕེལ་བས་ཡིན། དེ་ནས་ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་དེ་ཉེ་འབྲིས་ཀྱི་བརྡ་སྐྱེལ་སྐྱི་པགས་དུམ་བུ་དེར་འཕོས་ཤིང་། དེའི་བརྡ་འཕྲིན་ཡང་དེ་བཞིན་དུ་རྐྱབས་ཀྱི་རྣམ་པར་སུ་མཐུད་དུ་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་སྣན་གྱི་མཇུག་སྣེར་མ་སླེབས་བར་རྒྱུ་བ་རེད། གནད་ཆེ་བ་ཞིག་ལ། བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་སྣན་དེར་མཡི་ལིན་བད་རྩི་ཟེར་བའི་ལི་ཚིལ་གྱི་ཐུམ་ཞིག་གིས་གཡོགས་ནས་ཡོད་ཅིང་། དེས་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་སྣན་གྱི་ཕྱི་ནས་བཏུམས་པས། འབྲེལ་ཡོད་ལས་འཇུག་ཤུགས་པ་དེའི་གློག་རྒྱུན་འཐོར་དུ་མ་བཅུག་པར་སྲུང་གི་ཡོད། གོང་གི་"ཆ་ཚང་དམ་གཏན་མེད་ཀྱི་རྩ་འཛིན་"དེའི་དབང་གིས་བརྡ་འཕྲིན་དེ་བགྲོད་བཞིན་དུ་ཉམས་ཆག་འགྲོ་རྒྱུའི་ཚབ་ཏུ། དང་ཐོག་བརྡ་སྐྱེལ་འབུར་ཆུང་དུ་འགོ་ཚུགས་པ་ནས་བཟུང་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་སྣན་གྱི་མཇུག་སྣེར་སོན་པའི་བར་ཤུགས་ཚད་དེ་རང་དུ་གནས་པ་རེད།(དཔེ་རིས། ༡༩)

Imagine a line of 25 monks holding hands, standing in a row. Monk #1 on the far left end of the line receives a signal from his friend. His friend tells him this message: 'Send a signal, pass the word. It's time for prayers!' Monk #1 hears his friend, but he is busy studying and doesn't do much until three of his other friends also start yelling, 'Wake up! It's time for prayers!' At this point, Monk #1 becomes aware of his friends' yelling (his 'threshold potential' is reached) and he squeezes hard the hand of Monk #2, the second monk in line. This causes Monk #2 to squeeze the hand of Monk #3 just as hard; he squeezes the hand of Monk #4 just as hard, all the way to Monk #25. Each squeeze is like the movement of the action potential, each squeeze sends the initial message and sends it at the same squeeze intensity, so the signal is just as strong when Monk #1 squeezes Monk #2's hand as it is when Monk #24 squeezes Monk #25's hand. This is propagation—with all the monks together representing one action potential moving down one neuron.

Now, how does this signal progress from the end of the axon to another neuron? Or, another way to ask this question is: how did the initial action potential at the axon hillock get started in the first place? How did it receive information from other neurons that induced an action potential? That is, in neurotransmission, what is it that is analogous to the yelling of the Monk #1's friends that gets the process going?

CHEMICAL NEUROTRANSMISSION: FROM ONE NEURON TO THE NEXT

Consider again your walk through the woods and the crying child. Experiments suggest that the cells in your brain, when you hear that child, integrate a number of signals, thoughts and potential actions that result in your response to the child: your ears hear—receive sensory information that is passed to your auditory nerves and then to the neurons of your brain. Then, you turn the corner on the path through the woods and your eyes see the child. Why do you notice the child rather than the flower by the side of the path? This is an important question that we discuss later. For now, consider what happens when you look at the child. We learn about vision in neurobiological terms in the *Neurosciences I*; many connections and associations exist between the neurons in the visual part of the brain and other regions involving emotion and action. You see the facial expression caused by the muscles on the child's face and process the emotion of that child. This is amazing! Without any words, just from seeing, you can "read" the mind of another person. Furthermore, the interconnected brain systems involved in seeing

འདིར་ཁྱོད་ཀྱིས་དགེ་འདུན་གྲངས་ ༢༥ ཞིག་ཕན་ཚུན་ལག་པ་སྦྲེལ་ནས་ལངས་སྟབས་ཀྱིས་རྭ་བསྐོར་དུ་འཁོད་པ་ཞིག་བློས་བསླངས་ཀྱིས་ལ། དེ་དག་ལས་གྲལ་གྱི་ཆེས་གཡོན་མཐར་འཁོད་པའི་རབ་བྱུང་དང་པོ་དེར་ཁོང་གི་ཆོས་གྲོགས་ཤིག་ནས་བརྡ་འཕྲིན་ཞིག་འགྱོར་ལ། བརྡ་འཕྲིན་གྱི་ནང་དོན་ཡང་འདི་ལྟར། 'འདོན་པ་འགོ་ཚུགས་པའི་དུས་ལ་སླེབས་འདུག བརྡ་འཕྲིན་ཐོངས། གསལ་བསྒྲགས་སྤེལ་'ཞེས་པ་དེ་རེད། དེ་ལ་རབ་བྱུང་དང་པོ་དེས་བརྡ་འཕྲིན་དེ་ཐོས་ཀྱང་། ཁོང་ཉིད་རང་སྒྲིང་ལ་ཡིད་འབྱུངས་ནས་ཡོད་པས་དེར་ཡ་ལན་ཅི་ཡང་མ་སྨྲད། དེ་ནས་སླར་ཡང་ཁོང་གི་ཆོས་གྲོགས་གཞན་གསུམ་གྱིས་ཀྱང་དེ་མཚུངས་སུ། 'དོ་སྣང་གྱིས། འདོན་པ་འགོ་ཚུགས་པའི་དུས་ལ་སླེབས་འདུག་'ཅེས་སྐད་སྒྲ་མཐོན་པོར་བསྒྲགས། སྐབས་དེར་རབ་བྱུང་དང་པོ་ཡང་དེར་དོ་སྣང་སླེབས་(ཁོང་ཉིད་རང་གི་'ཐེམ་མཚམས་ཐུས་པ་'ལ་སོན་)རྗེས། ཁོང་གིས་རབ་བྱུང་གཉིས་པའི་ལག་པ་ཤུགས་ཆེར་འཚིར་ཞིང་གནོན་ལ། དེས་ཀྱང་གསུམ་པའི་ལག་པ་སྔར་བཞིན་དུ་འཚིར་བ་དང་། དེས་བཞི་བའི་ལག་པ་འཚིར་ཞིང་། དེ་ལྟར་རབ་བྱུང་ཉེར་ལྔ་པའི་བར་སོང་ངོ་། །འདིའི་འཚིར་གནོན་བྱ་བ་རེ་རེ་ནས་ལས་འཁྲུག་ནུས་པའི་འགྲུལ་སྐྱོད་དང་མཚུངས་ཏེ། འཚིར་གནོན་རེ་རེས་ཐོག་མའི་བརྡ་འཕྲིན་དེ་ག་རང་གཏོང་བ་དང་། དེ་ཡང་འཚིར་གནོན་གྱི་ཁྲིམ་ཚད་གཅིག་རང་དུ་བཏང་བས། རབ་བྱུང་དང་པོས་གཉིས་པའི་ལག་པ་འཚིར་སྐབས་ཀྱི་བརྡ་འཕྲིན་དང་། རབ་བྱུང་ཉེར་བཞི་པས་ཉེར་ལྔ་བའི་ལག་པ་འཚིར་སྐབས་ཀྱི་བརྡ་འཕྲིན་ཀྱི་ཁྲིམ་ཚད་ནི་གཅིག་རང་དུ་གནས་ཡོད་པ་རེད། འདི་ཉིད་བརྒྱུད་གཏོང་བྱེད་རིམ་ཡིན་ལ། དེར་དགེ་འདུན་པ་ཀུན་འདུས་པའི་ཚོགས་དེས་ལྷན་ཅིག་ཏུ་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཅིག་གི་རྒྱུད་དུ་རྒྱུ་བའི་ལས་འཁྲུག་ནུས་པ་གཅིག་ཉིད་མཚོན་པ་ཡིན།

ད་ནི་དྲི་བ་འདི་ལྟར་འདྲི་རྒྱུ་སྟེ། བརྡ་འཕྲིན་འདི་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་གྱི་མཇུག་སྣེ་ནས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་ཞིག་ལ་ཚུལ་ཇི་ལྟར་དུ་བགྲོད་དམ། ཡང་འདི་ཉིད་དྲི་ཚུལ་གཞན་དུ་བྱས་ན་འདི་ལྟར། བརྡ་སྐྱེལ་འབྱུར་ཚུང་ཁུལ་དུ་གྲུབ་པའི་ཐོག་མའི་ལས་འཁྲུག་ནུས་པ་དེ་ཉིད་དང་ཐོག་ཚུལ་ཇི་ལྟར་འགོ་ཚུགས་སམ། ལས་འཁྲུག་ནུས་པ་སློང་བའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་དེ་རྣམས་ནས་འདིར་(བརྡ་སྐྱེལ་འབྱུར་ཚུང་འདིར་)ཆ་འཕྲིན་དེ་ཇི་ལྟར་འཕྲོད་དམ། ཞེས་པའོ། །དེ་ནི་གོང་གི་རབ་བྱུང་རྣམ་པའི་དཔེ་མཚོན་གྱི་ཁྲོད་དུ་མཐར་རེ་རེའི་ལག་པ་འཚིར་གནོན་གྱི་བྱེད་རིམ་དངོས་སུ་སྐུལ་བྱེད་དུ་གྱུར་པ་རབ་བྱུང་དང་པོའི་ཆོས་གྲོགས་གང་གི་སྐད་སྒྲ་དེ་ཉིད་དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་རིམ་ལ་གཞིགས་ན་དེའི་དོན་ཐུབ་དེ་གང་ཞིག་ཡིན་ནམ་ཞེས་དྲིས་པ་ཡིན།

རྫས་འགྱུར་གྱི་དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་རིམ། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཅིག་ནས་དེའི་རྗེས་མ་དེའི་བར།

འདིར་སླར་ཡང་ཁྱོད་ཉིད་སྔར་གྱི་དུ་མོ་བྱེད་པའི་ཐྲུ་གུ་དེ་དང་མཉམ་དུ་ནགས་ཀླུང་དེའི་ཁྲོད་དུ་གོམ་ཁ་གཏོད་བཞིན་པར་སོམས་ལ། བརྟག་དཔྱད་ཀྱི་བང་རིམ་དག་གིས་སྔེ་སྟོན་བྱས་པར་གཞིགས་ན། ཁྱོད་ཀྱིས་ཐྲུ་གུ་དེའི་དུ་སྐད་ཐོས་པ་ན། ཁྱོད་ཀྱི་ཀླད་པའི་ཐ་ཕྱུང་དག་གིས་བརྡ་འཕྲིན་དང་། བསམ་བློ་དང་། ལས་འཁྲུག་ནུས་པའི་རྣམ་གྲངས་རྣམས་ལ་འཚམ་སྒྲིག་བྱེད་ལ། དེའི་རྗེས་འབྲས་སུ་ཐྲུ་གུ་དེར་དམིགས་པའི་ཁྱོད་ཀྱི་ཡ་ལན་གྱི་རིམ་པ་རྣམས་འཐོན་པ་རེད། དེ་དག་ནི་ཁྱོད་ཀྱི་རྣ་ལྟོག་གིས་སྒྲ་ཐོས་པ་སྟེ། དེར་དབང་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་སོན་པ་རྣམས་ཐོས་ཚོར་དབང་རྩར་བསྐྱལ་བ་དང་། དེ་ནས་ཀླད་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་ལ་བསྐྱལ། མཚམས་དེར་ཁྱོད་ཀྱིས་ནགས་ཀླུང་ཁྲོད་ཀྱི་ལམ་ཀོག་གི་ཁུགས་སུ་ཁ་བསྐོར་བ་དང་སྟབས་མཚུངས་སུ་བྱིས་པ་དེ་མཐོང་བ་ཡིན། དེ་ལྟ་ནའང་། ལམ་ཟུར་གྱི་མེ་ཏོག་མཐོང་རྒྱུའི་ཆབ་ཏུ་ཁྱོད་ཀྱིས་བྱིས་པ་དེ་མཐོང་བ་ཅིས་ཡིན་ནམ་ཞེ་ན། འདི་ནི་དྲི་བ་གལ་ཆེ་ཞིག་ཡིན། ང་ཚོས་འདི་སྐོར་ཕྱིས་སུ་གྲོས་སྡུར་བྱ་འཐུས། འོན་ཀྱང་འདིར་ནི་ཁྱོད་ཉིད་ཐྲུ་གུ་དེར་བལྟ་བ་ན་ཅི་ཞིག་འབྱུང་མིན་ཐད་ང་ཚོས་བསམ་གཞིག་ཅིག་བྱ་འདོད། དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོའི་ནང་ང་ཚོས་དབང་རྩ་དང་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས་ཟུང་སྦྲེལ་བརྒྱུད་མཐོང་ཚོར་སྐོར་གནས་དོན་ཁག་གང་དག་ཤེས་ཡོད་པ་ནི། མཐོང་ཚོར་དང་སྦྲེལ་བའི་ཀླད་པའི་ཆ་ཁུལ་ལ་ཡོད་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་དང་། སེམས་སྒུལ་དང་འགུལ་སྐྱོད་སྦྲེལ་བའི་ཀླད་པའི་ཆ་ཁུལ་གཞན་གྱི་དབར་མཐུད་སྦྱོར་དང་འབྲེལ་སྦྱོར་རྣམ་གྲངས་ཇི་ཡོད་སྐོར་དེ་ཡིན། ང་ཚོས་ཐྲུ་གུའི་ངོ་གདོང་གི་ཤ་གནད་དག་གིས་བསླངས་པའི་ཁའི་གདོང་པའི་སྟེང་གི་རྣམ་འགྱུར་རྣམས་མཐོང་ཞིང་། དེ་ལས་ཐྲུ་གུ་དེའི་རྒྱུད་ཀྱི་སེམས་སྒུལ་ལ་དབྱེ་གཅོད་བྱེད་ཐུབ་ཀྱི་ཡོད། འདི་ནི་ཏ་ཅང་ངོ་མཚར་ཆེ་སྟེ། མིང་ཚིག་བརྗོད་པ་གང་ལའང་མ་བརྟེན་པར། གཞན་ཕ་རོལ་པོ་མཐོང་བ་ཙམ་ཀྱིས་དེའི་སེམས་ཁམས་ཤེས་ཐུབ་པ་དེའི་ཕྱིར། དེར་མ་ཟད། ཐྲུ་གུ་དེར་བལྟ་བ་དང་དེར་ཡ་ལན་འདེབས་པར་འགན

and responding to the child are able to communicate with your peripheral nervous system—in your legs and arms—to signal the muscles in those arms and legs to move, pick up and comfort the child (see detailed discussion of movement below).

For this entire scene to occur, clearly neurons must not only send signals down their axons, but they also must send signals to other neurons and to the muscles. Let's investigate how neurons do this. First, how do neurons send signals to other neurons? Second, how do neurons send signals to muscles? Then, finally, how do neuron-neuron and neuron-muscle interactions translate into whole-body movement?

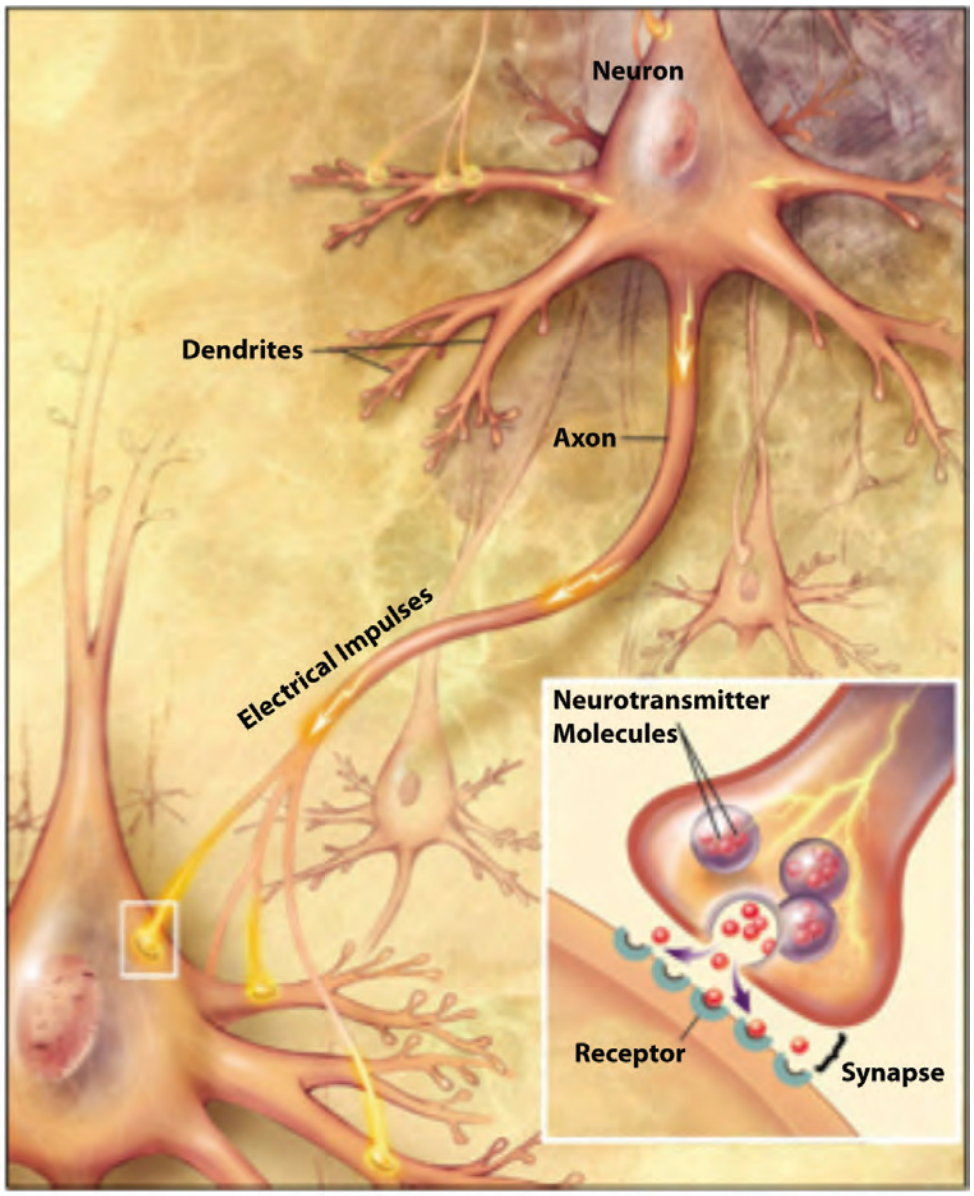
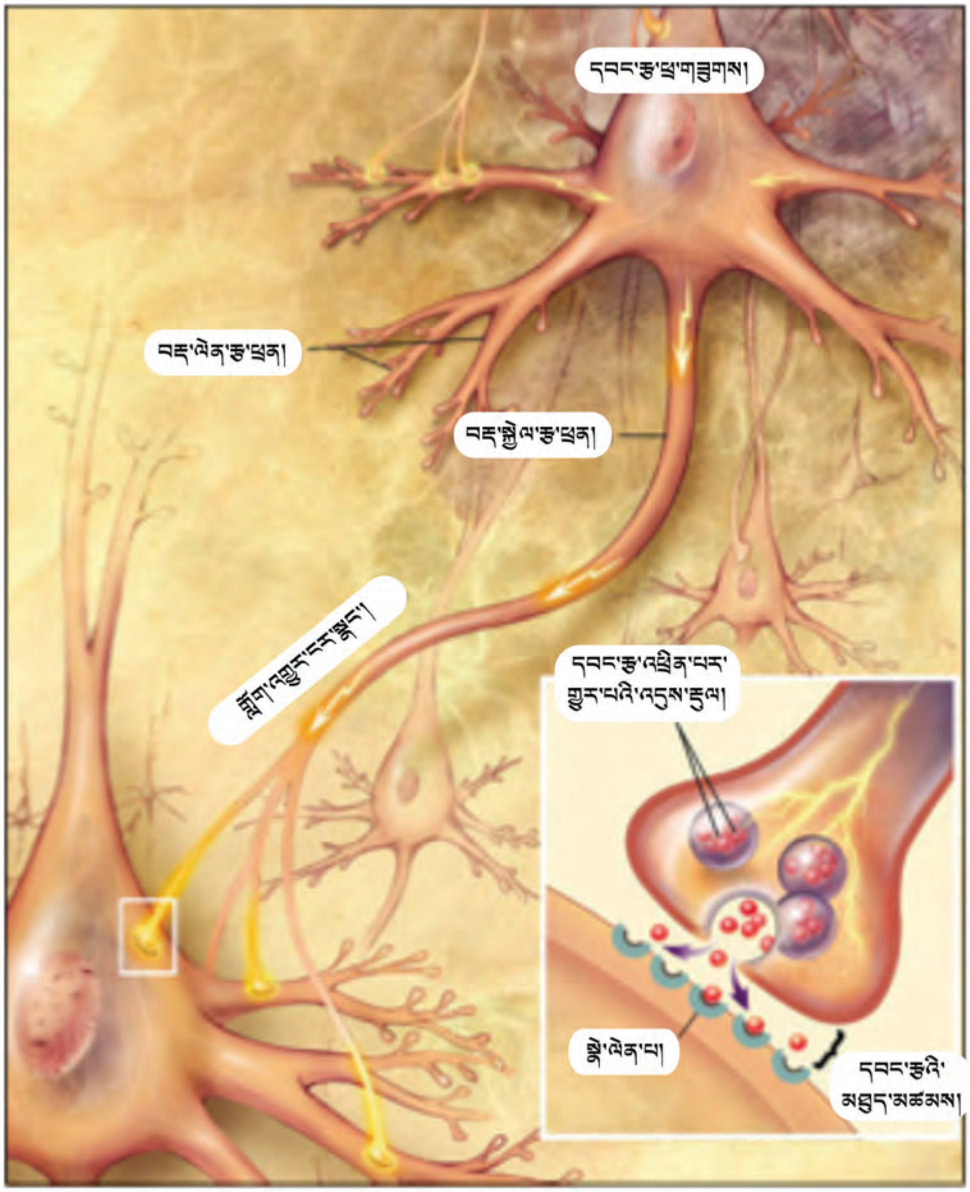


Figure 15: The synapse is the space where the terminal of one neuron interacts with the dendrites or cell body of another neuron.

Look at Figure 15; it shows the terminal of one neuron on the upper right interacting with the dendrites and cell body of another neuron on the upper left. The tiny space between the axon terminal sending a signal and a neuron receiving the signal is called a synapse. The electrical signal of the action potential that has moved all the way down the pre-synaptic neuron is now converted into a chemical signal when it reaches the axon terminal.

The conversion from an electrical to a chemical signal happens as follows.

- Once the action potential reaches the end of the pre-synaptic neuron, the depolarization of the action potential alters the shape of voltage-gated calcium channels, causing them to open.
- Because calcium normally is at a greater concentration outside than inside the cell, calcium rushes into the end of the axon, following its concentration gradient.



དཔེ་རིས། ༡༥ དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་ཞེས་པ་ནི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཅིག་གི་ཇོགས་མཚམས་དང་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་ཞིག་གི་ཕྲ་ཕུང་ལུས་གཉིས་ཀྱི་དབར་རམ། ཡང་ན། གཞན་དེའི་བརྡ་ལེན་རྩ་ཕྲན་དབར་སྤྲེལ་སྦྱོར་བྱེད་སའི་ས་ཚིགས་དེར་ཟེར་བ་རེད།

ཡོད་པའི་ཕན་ཚུན་སྦྲེལ་ནས་འཁོད་པའི་ཀླད་པའི་མ་ལག་དེ་དག་རྐང་པ་དང་དཔུང་པ་བཅས་སུ་ཁྱབ་པའི་མཐའ་འཁོར་དབང་རྩ་མ་ལག་དང་ལྷན་དུ་འབྲེལ་མོལ་ལ་ཞུགས་ནུས་ལ། དེ་ལས་རྐང་པ་དང་དཔུང་པའི་ཤ་གནད་དག་ལ་བརྡ་འཕྲིན་བཏང་སྟེ་དཔུང་རྐང་དེ་དག་སྐྱོལ་བ་དང་། ཕྲ་གུ་པང་དུ་བླངས་ཏེ་ཁ་ཏ་བྱེད་དུ་འཇུག་པ་རེད། (འགུལ་སྐྱོད་དང་འབྲེལ་བའི་གྲོས་སྡུར་རྒྱས་པ་འོག་ཏུ་གསལ་བ་དེར་ལྟོས།)

ཆ་ཤས་དེ་ཀུན་ཚང་བའི་གནས་སྟངས་འདི་འདྲ་ཞིག་གྲུབ་པར་ནི་ཏན་ཏན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གིས་སོ་སོའི་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་རྒྱུད་དུ་བརྡ་འཕྲིན་ངེས་པར་གཏོང་དགོས་པས་མ་ཟད། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་དང་ཤ་གནད་གཞན་དག་ལའང་བརྡ་འཕྲིན་ངེས་པར་གཏོང་དགོས། དེས་ན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གིས་གོང་གསལ་ལས་དོན་འདི་ཇི་ལྟར་འགྲུབ་ཚུལ་ཐད་ང་ཚོས་བརྟག་པ་ཞིག་འགྲུབ་ན་འདོད། དེ་ཡང་ཐོག་མར། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱིས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་ལ་བརྡ་འཕྲིན་ཇི་ལྟར་གཏོང་ཚུལ་དང་། གཉིས་པར། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱིས་ཤ་གནད་དག་ལ་བརྡ་འཕྲིན་ཇི་ལྟར་གཏོང་ཚུལ། མཐར། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ནང་ཕན་ཚུན་དང་། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དང་ཤ་གནད་ཕན་ཚུན་གྱི་སྦྲེལ་སྦྱོར་བྱ་བ་རྣམས་ལུས་ཕུང་ཡོངས་ཀྱི་འགུལ་སྐྱོད་རྣམ་པར་ཇི་ལྟར་ཕབ་གྱུར་ཐེབས་ཚུལ་བཅས་ལ་བརྟག་དགོས།

དཔེ་རིས་ ༡༥ ལ་གཅིག་ལྟོས་དང་། དེར་སྟེང་གི་གཡས་ཕྱོགས་སུ་འཁོད་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཅིག་གི་སྣེ་ཞིག་སྟེང་གི་གཡོན་ཕྱོགས་སུ་འཁོད་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་ཞིག་གི་བརྡ་ལེན་རྩ་ཕྲན་དང་ཕྲ་ཕུང་ལུས་བཅས་དང་སྦྲེལ་སྦྱོར་བྱེད་བཞིན་པར་གསལ་ཡོད། དེར་གསལ་བའི་བརྡ་འཕྲིན་སྐྱེལ་བའི་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་གྱི་མཇུག་སྣེ་དང་བརྡ་འཕྲིན་ལེན་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དབར་གྱི་ས་ཚིགས་ཆུང་ དུ་དེ་ལ་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་ཟེར་བ་རེད། ལས་འཇུག་ནུས་པའི་གློག་འགྱུར་བརྡ་འཕྲིན་གང་ཞིག་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་ཀྱི་ཕྱི་ལོགས་བར་བགྲོད་པ་དེ་ཉིད་དུ་ཆ་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་གྱི་མཇུག་སྣེར་སླེབས་པ་ན་རྫས་འགྱུར་བརྡ་འཕྲིན་གྱི་ངོ་བོར་བརྗེ་སྒྱུར་ཐེབས་འགྲོ།

དེ་ལྟར་དུ་གློག་འགྱུར་གྱི་ངོ་བོ་ཞིག་ནས་རྫས་འགྱུར་གྱི་ངོ་བོར་བརྗེ་སྒྱུར་ཐེབས་ཚུལ་གཤམ་གསལ་ལྟར་ཡིན།

- ལས་འཇུག་ནུས་པ་དེ་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་ཀྱི་ཕྱི་ལོགས་བར་སླེབས་པ་ན། ལས་འཇུག་ནུས་པ་དེར་ཐོག་པའི་སྣེ་འདུམ་བུ་བས་ཤོལ་ཆེན་སྒོ་བཅད་ཀྱི་དཀར་ཤམ་རྒྱ་ལམ་དག་གི་བཀོད་དབྱིབས་ལ་ཁ་སྒྱུར་གཏོང་བས་དེ་དག་འབྱེ་རུ་འཇུག་གི་ཡོད།
- རྒྱུན་དུ་དཀར་ཤམ་གྱི་རྫས་དེ་ཕྲ་ཕུང་གི་ནང་ལོགས་ལ་ལྟོས་ཏེ་ཕྱི་ལོགས་སུ་གར་ཚད་མཐོ་བར་གྲུབ་ལ། དེར་བརྟེན་རང་གི་གར་ཚད་གཟར་བབ་ཀྱི་རྗེས་སུ་འབྲངས་ཏེ་དཀར་ཤམ་དེ་ཉིད་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་གྱི་མཇུག་སྣེའི་ཁོང་དུ་ཐེལ་རྒྱུག་བྱེད་པ་རེད།

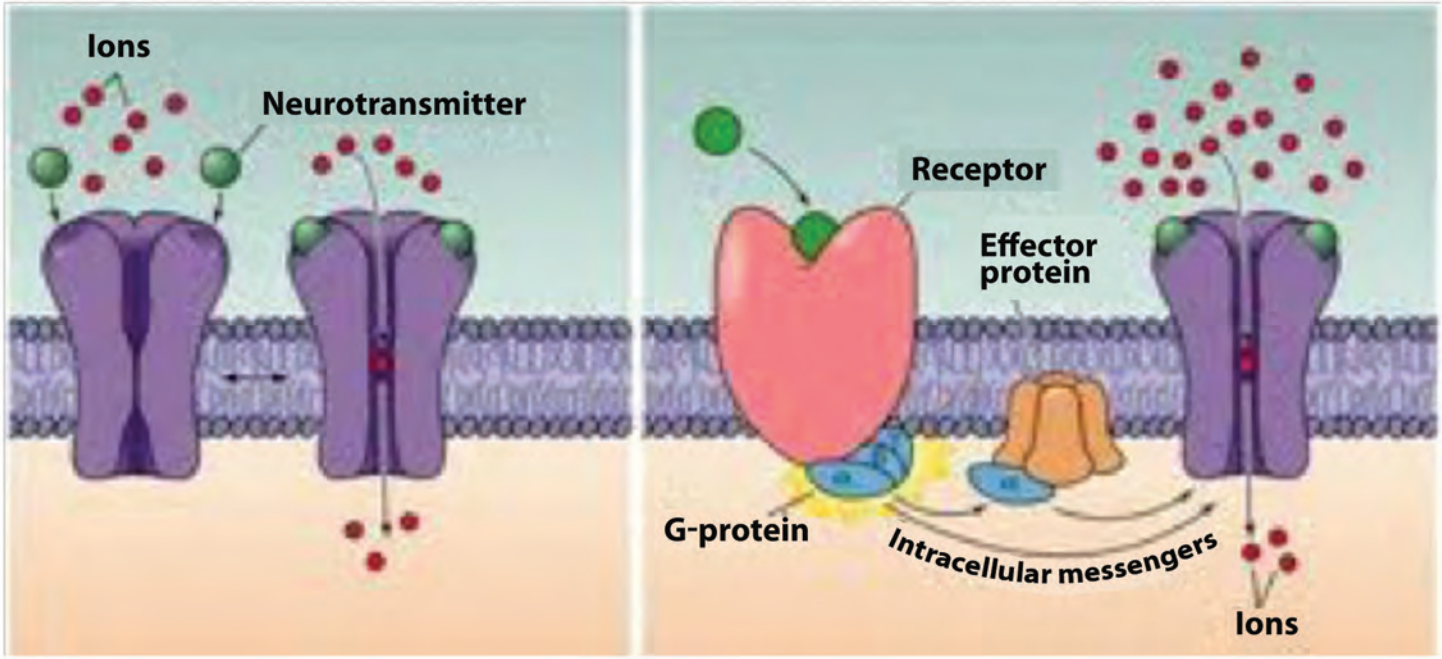
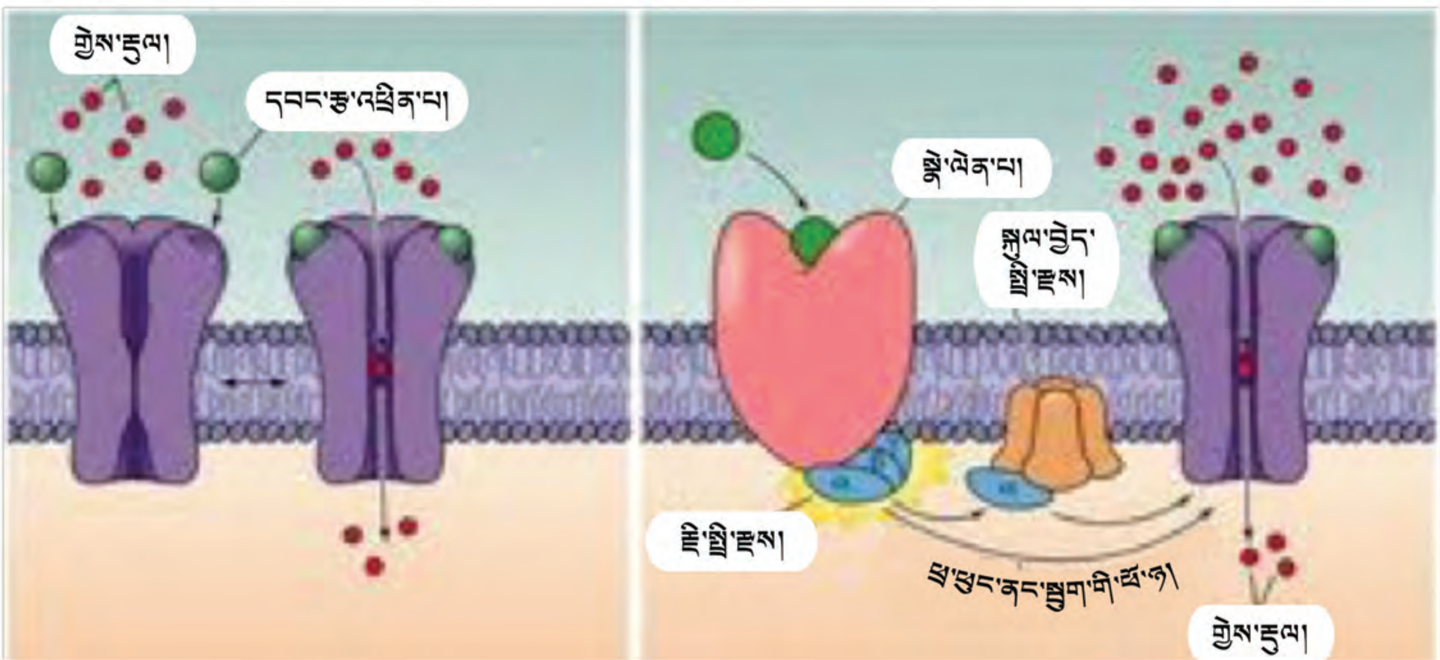


Figure 16: Two main types of neurotransmitter receptors.
(a.) Ionotropic receptors, on the left, allow ions to quickly pass through under specific conditions.
(b.) G-protein coupled receptors, on the right, use a slower, second-messenger system.

- The calcium induces vesicles (small membrane-bound sacs) carrying chemicals called neurotransmitters (Figure 15, inset) in the terminal to fuse with the membrane, emptying the neurotransmitters into the synapse. There are many different neurotransmitters, including glutamate, GABA, acetylcholine, dopamine, serotonin, epinephrine and norepinephrine. In addition, there are many short protein neurotransmitters, also called neuropeptides. In all, there are more than 100 chemicals that are currently known to act as neurotransmitters at synapses in the brain!
- When the chemical messagers are released into the synapse, the neurotransmitters interact with membrane protein receptors on the post-synaptic neuron. This interaction passes the neural signal along from the pre-synaptic neuron into the receiving post-synaptic neuron.
- In the post-synaptic neuron, the chemical signal from the neurotransmitters is re-converted into an electrical signal in ways we will explore below.

Depending on the type of neurotransmitter and the receptor it binds to, different effects will result in the post-synaptic cell. Each receptor has binding sites for a specific neurotransmitter. You can think of how for every lock, there is only one kind of key that fits. In the same way, only the correct neurotransmitter can bind to a given receptor. There are two main types of receptors for neurotransmitters, known as ionotropic receptors and G-protein coupled receptors



དཔེ་རིས། ༡༦ དབང་རྒྱ་འཛིན་པས་(འཆིང་སྡོམ་བྱ་སའི་)སྣེ་ལེན་པར་རིགས་གཙོ་བོ་གཉིས་ཡོད།
(ཀ) ཀྱིས་རྫུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པ་སྟེ། དཔེ་རིས་ཀྱི་གཡོན་ཕྱོགས་སུ་གསལ་བ་འདི་དག་གིས་གནས་སྟངས་དམིགས་བསལ་འོག་ཀྱིས་རྫུལ་རྣམས་མགྱོགས་མྱུར་སྒོས་བགྲོད་དུ་འཇུག་ལ།
(ཁ) ཇེ་ཕྲི་རྫས་ལ་མཐུད་སྦྱོར་ཅན་གྱི་སྣེ་ལེན་པ་སྟེ། དཔེ་རིས་ཀྱི་གཡས་ཕྱོགས་སུ་གསལ་བ་དག་གིས་ནི་བྱུལ་གཤིས་ཅན་གྱི་རིམ་པ་གཉིས་པའི་འཛིན་པ་མ་ལག་སྤྱོད་སྒོར་བསྐྱེན་གྱི་ཡོད།

- དེ་ནས་དབང་རྒྱ་འཛིན་པར་(དཔེ་རིས་ ༡༥ ནང་གི་སྣུབས་འཇུག་ཚན་པ་)འབོད་པའི་རྫས་འགྱུར་དངོས་པོ་དེའི་རིགས་འཕྲུར་བའི་ལྷང་བུ་(སྐྱི་པགས་ཀྱིས་འཐུམས་པའི་རྐྱལ་པ་)དེ་འདྲ་དཀར་ཤམ་གྱིས་སྐྱི་པགས་དང་འདྲེས་སུ་བཙུག་པས། དབང་རྒྱའི་མཐུད་མཚམས་དེར་དབང་རྒྱ་འཛིན་པ་དེ་དག་གི་ཁྲུར་འབོགས་སུ་འཇུག་གི་ཡོད། དེ་ཡང་དབང་རྒྱ་འཛིན་པ་ལ་རིགས་མི་འདྲ་བ་སྣ་ཚོགས་ཡོད་དེ། གླུ་ཊ་མེ། སྣ་སྒྲ། ཨེ་སི་ཊེལ་ཁོ་ལིན། ཌོ་པ་མིན། སི་རོ་ཊོ་ནིན། ཨེ་པི་ནེབ་རིན། ནོར་ཨེ་པི་ནེབ་རིན་བཅས་ཡིན། དེའི་ཐོག་ཏུ། དབང་རྒྱའི་སྤྱི་ཕྱི་རུ་འབོད་པ་སྤྲི་རྫས་ཕྲང་དུའི་རིགས་ཀྱི་དབང་རྒྱ་འཛིན་པ་མང་དག་ཅིག་ཀྱང་ཡོད། གླང་པའི་ནང་གི་དབང་རྒྱའི་མཐུད་མཚམས་ཁྲུལ་དུ་དབང་རྒྱ་འཛིན་པའི་ཚུལ་གྱི་བྱེད་ལས་འགྲུབ་པའི་རྫས་འགྱུར་གྱི་དངོས་པོ་དེ་འདྲ་བར་ཁྲོན་བསྡོམས་བརྒྱ་ལྷག་ཙམ་ངོས་འཛིན་བྱས་ཟིན་ཡོད།
- རྫས་འགྱུར་གྱི་འཛིན་པ་དེ་དག་དབང་རྒྱའི་མཐུད་མཚམས་ཁྲུལ་དུ་གློད་གྲོལ་བྱུང་ཙམ། དབང་རྒྱ་འཛིན་པ་འདི་དག་མཐུད་མཚམས་རྗེས་འགྲོའི་དབང་རྒྱ་ཕྲ་གཟུགས་སྟེང་གི་སྐྱི་པགས་སྤྲི་རྫས་སྣེ་ལེན་པ་དག་དང་སྦྲེལ་སྦྱོར་བྱེད་པ་རེད། སྦྲེལ་སྦྱོར་གྱི་བྱ་བ་འདིས་མཐུད་མཚམས་སྔོན་འགྲོའི་དབང་རྒྱ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་ནས་མཐུད་མཚམས་རྗེས་འགྲོའི་བརྡ་ལེན་དབང་རྒྱ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་ལ་དབང་རྒྱའི་བརྡ་འཛིན་དེ་རིགས་གཏོང་གི་ཡོད།
- དབང་རྒྱ་འཛིན་པ་དག་ནས་སོན་པའི་རྫས་འགྱུར་ངོ་བོའི་བརྡ་འཛིན་དེ་མཐུད་མཚམས་རྗེས་འགྲོའི་དབང་རྒྱ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་གི་ཁོག་ནང་དུ་སླར་ཡང་གློག་འགྱུར་བརྡ་འཛིན་གྱི་ངོ་བོར་བརྗེ་སྒྱུར་ཐེབས་ཚུལ་ནི་གཤམ་དུ་ང་ཚོས་འཚོལ་རྟོག་བྱ་རྒྱུ་ཡིན།

དབང་རྒྱ་འཛིན་པའི་རིགས་དང་། སྣེ་ལེན་པ་གང་ལ་འཛིན་པ་དེ་དག་འཆིང་སྡོམ་བྱ་སའི་སྣེ་ལེན་པའི་རིགས་ལ་གཞིགས་ཏེ་མཐུད་མཚམས་རྗེས་འགྲོའི་ཕྲ་ཕུང་སྟེང་དུ་དེའི་རྗེས་འབྲས་མི་འདྲ་བ་ཐོག་གི་ཡོད། དེ་ཡང་དབང་རྒྱ་འཛིན་པ་ངེས་བཟུང་སོ་སོར་གཞིགས་ཏེ་སྣེ་ལེན་པ་རེ་རེར་འཆིང་སྡོམ་བྱ་སའི་ཆ་ཁྲུལ་སོ་སོར་ཡོད། འདི་ཐད་ཁྲོད་ཀྱིས་སྒོ་ལྕགས་རེ་རེར་རང་ལ་འཚམས་པའི་ལྡེ་ཙུ་མིག་གཅིག་རང་ཡོད་ཚུལ་དཔེར་མཚོན་དུ་ཁྱེར་ཆོག དེ་བཞིན་དུ་དབང་རྒྱ་འཛིན་པ་ཆ་འགྲིག་གཅིག་ཁོ་ནས་འབྲེལ་ཡོད་སྣེ་ལེན་པར་འཆིང་སྡོམ་བྱེད་ཐུབ། དབང་རྒྱ་འཛིན་པ་དག་གིས་(འཆིང་སྡོམ་བྱ་སའི་)སྣེ་ལེན་པའི་རིགས་གཙོ་བོ་གཉིས་ཡོད་དེ། ཀྱིས་རྫུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པ་དང་ཇེ་ཕྲི་རྫས་ལ་མཐུད་སྦྱོར་ཅན་གྱི་སྣེ་ལེན་པ་(དཔེ་རིས། ༡༦)བཅས་ཡིན། ཀྱིས་རྫུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པ་དག་ནི་གོང་དུ་ང་ཚོས་ཤེས་པའི་ལྷོལ་རྟེན་སྒོ་བཅད་ཀྱི་རྒྱུ་ལམ་དག་དང་འདྲ་སྟེ། ཕྲི་རྫས་རིགས་གཉིས་ཀས་རྒྱུ་ལམ་ཞིག་གྲུབ་ཅིང་། དེ་ལྟའི་རྒྱུ་ལམ་དེས་རང་ཉིད་ཁ་འབྱེ་བའི་སྐབས་ཀྱིས་རྫུལ་གྱི་རིགས་ངེས་བཟུང་ཞིག་རང་གི་བརྒྱུད་ནས་བགྲོད་འཇུག་པའི་ཕྱིར། དེ་ལྟར་ནའང་ཀྱིས་རྫུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པའི་ཕྲི་རྫས་དང་

(Figure 16). Ionotropic receptors are similar to the voltage-gated channels we learned about above in as much as both proteins form a channel that allows a certain ion to pass through when the channel is open. However, the mechanism by which voltage-gated channels and ionotropic receptor proteins open are different. Voltage-gated channels open when there are changes in membrane potential, whereas ionotropic receptors open when the right neurotransmitter binds to them. Ionotropic receptors are also said to mediate "fast" neurotransmission, because when the neurotransmitter binds and the channel opens, ions immediately pass through, changing the membrane potential within milliseconds (Figure 16a). Depending on the ion that flows through the channel, as well as the direction it flows (based on its concentration and electrical gradients), the inside of the cell can become more positive or more negative. When the cell becomes more positive, or depolarizes, this is called an excitatory response, because it pushes the neuron closer to reaching the threshold potential. Conversely, when the cell becomes more negative, this is called an inhibitory response, because it makes it more difficult for the neuron to reach threshold potential and fire an action potential. Can you think of which ions would make the cell more excited (positive) versus inhibited (negative)?

In contrast to ionotropic receptors, G-protein coupled receptors act more slowly and do not allow ions to pass through when neurotransmitter binds to them. Instead, these receptors bind neurotransmitter, and activate attached proteins (G-proteins), which send signals to other molecules known as second messengers (because they are the second ones to carry the signal after the primary receptor at the cell surface; see Figure 16b) inside the cell. Second messengers (of which there are also a great variety, including cyclic adenosine monophosphate, or cAMP, which we discuss extensively in the *LSP-III: Development and Physiology*) then activate enzymes or other molecules. These molecules might be proteins that turn on genes, or they might be other ion channels or pumps, or neurotransmitter receptors themselves. All these reactions take time (hundreds of milliseconds to minutes), which is why action at G-protein coupled receptors is slower than ionotropic receptors. However, in both cases, the responses can end up being excitatory or inhibitory, depending on the resulting changes in membrane potential.

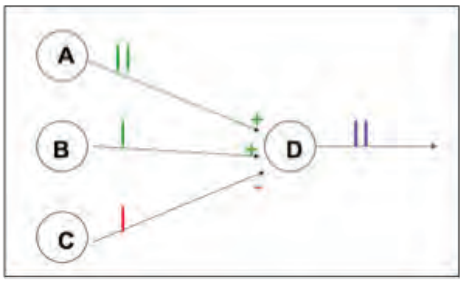
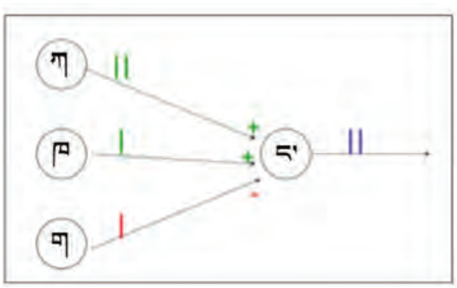


Figure 17: A single neuron (D) receives input from many synapses (A-C), the sum of which determines whether the threshold potential is reached.

A single neuron can have thousands of synapses communicating with it; these synapses can occur on the dendrites as well as the cell body of the neuron. Each neuron constantly 'adds up' the many signals it receives at all its synapses (Figure 17), an information-integrating process known as

ཡོལ་རྟེན་སྒོ་བཅད་ཀྱི་རྒྱུ་ལམ་གཉིས་པོ་ཚུལ་དེ་ལྟར་ཁ་འབྱེ་བའི་ཐབས་འཕྲུལ་ནི་གཅིག་མཚུངས་མིན་ཏེ། ཡོལ་རྟེན་སྒོ་བཅད་ཀྱི་རྒྱུ་ལམ་རྣམས་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་ལ་འགྱུར་བ་ཐེབས་པའི་ཚེ་ཁ་འབྱེ་ལ། གྲེས་རྟུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པ་རྣམས་ནི་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་རན་འཚམ་ཞིག་དེ་དག་ལ་འཆིང་སྡོམ་བྱེད་པ་ན་ཁ་འབྱེ་བ་ཡིན། དེར་མ་ཟད། གྲེས་རྟུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པ་དག་གིས་ནི་དབང་རྩའི་འཕྲིན་གཏོང་བྱ་བ་མགྱོགས་པར་བསྐྱུལ་ཚུལ་བཤད་པ་རེད། དེའི་རྒྱུ་མཚན་ནི། དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་ཞིག་གིས་འཆིང་སྡོམ་བྱས་ཏེ་རྒྱུ་ལམ་དེ་ཉིད་འབྱེ་བ་ན། དེའི་བརྒྱུད་དུ་གྲེས་རྟུལ་རྣམས་འཕྲུལ་མར་རྒྱུག་པས་སྐར་ཆ་གཅིག་གི་སྟོང་ཆའི་དུས་ཡུན་ནང་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་ལ་འགྱུར་བ་བསྐྱུལ་བས་རེད(དཔེ་རིས། ༡༨ ཀ)། རྒྱུ་ལམ་དེ་ནས་བཞུར་བའི་གྲེས་རྟུལ་གྱི་རང་བཞིན་དང་། དེ་ཉིད་ཁ་ཕྱོགས་གང་དུ་(རང་གི་གར་ཚད་གཟར་བབ་དང་གློག་འགྱུར་གཟར་བབ་གཞིར་བྱས་ནས་)བཞུར་བའི་གནས་སྟངས་བཅས་ལ་ལྟོས་ནས་ཕྲ་ཕུང་གང་དེའི་ནང་ཡོགས་དེ་སྤར་བས་པོ་ཤས་སམ། ཡང་ན་མོ་ཤས་ཆེ་བར་འགྱུར་བ་རེད། གལ་ཏེ་ཕྲ་ཕུང་དེ་པོ་ཤས་ཆེ་བར་གྱུར་པ་སྟེ། དེའི་སྣེ་འཕྲུལ་རང་བཞིན་ཚུར་འདུམ་པར་གྱུར་ཚེ། དེ་ལ་ངར་སད་ཡ་ལན་དུ་འབོད་པ་རེད། དེའི་རྒྱུ་མཚན་ནི་དེས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་ཉིད་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པའི་ཕྱོགས་སུ་ཉེ་བར་འཕྱུལ་བས་རེད། དེ་ལས་ལྡོག་སྟེ་གལ་ཏེ་ཕྲ་ཕུང་དེ་མོ་ཤས་ཆེ་བར་གྱུར་ཚེ། དེ་ལ་འགོག་སྡོམ་ཡ་ལན་ཞེས་འབོད་དེ། དེས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་ཉིད་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པ་ལ་སོན་པ་དང་ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་འཕེན་པ་བཅས་ལ་དཀའ་ཚེགས་ཆེ་བར་བཟོ་བས་རེད། དེས་ན་གྲེས་རྟུལ་གྱི་རིགས་གང་གིས་ཕྲ་ཕུང་གི་ངར་སྣང་ཇེ་ཆེར་(པོ་ཤས་)སྤོར་བར་བྱེད་པ་དང་། ཡང་ན་དེའི་ངར་སྣང་ཇེ་ཆུང་དུ་(མོ་ཤས་)གཅོག་པར་བྱེད་མིན་ཁྱོད་ཀྱིས་ཤོད་ཐུབ་བམ།

གྲེས་རྟུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པ་དང་མི་འདྲ་བ་ཞིག་ལ། ཧེ་སྤྲི་རྫས་ལ་མཐུད་སྦྱོར་ཅན་གྱི་སྣེ་ལེན་པ་དག་ལ་དབང་རྩ་འཕྲིན་པས་འཆིང་སྡོམ་བྱེད་པའི་ཚེ་ཧེ་སྤྲི་རྫས་ལ་མཐུད་སྦྱོར་ཅན་གྱི་སྣེ་ལེན་པ་འདི་དག་ལས་ལ་ཅུང་ཟད་འཇུག་རྒྱུ་བྱུལ་བར་གྱུར་པ་དང་། འདི་དག་གིས་གྲེས་རྟུལ་རྣམས་བརྒྱུད་བགྲོད་བྱེད་དུ་མི་སྟེར་བ་དེ་ཡིན། དེ་ལས་ལྡོག་སྟེ། སྣེ་ལེན་པ་འདི་དག་གིས་དབང་རྩ་འཕྲིན་པར་ཡར་འཆིང་སྡོམ་བྱེད་ཅིང་། དེར་འབྱུར་བའི་ཧེ་སྤྲི་རྫས་གཞན་རྣམས་འདེད་སད་སློང་བྱེད་ལ། དེ་ལྟར་སད་པའི་སྤྲི་རྫས་དེ་དག་གིས་ཕྲ་ཕུང་ཁོག་ནང་གི་འཕྲིན་པ་གཉིས་པར་(ཕྲ་ཕུང་ཁྱད་ངོས་སུ་ཆགས་པའི་ཐོག་མའི་འཕྲིན་པ་རྣམས་ཀྱིས་བརྡ་འཕྲིན་འཕུར་བའི་རྗེས་སུ་འདི་དག་གིས་འཕུར་བ་དེ་རིམ་པ་གཉིས་པ་ཡིན་པའི་རྒྱུ་མཚན་གྱིས་དེ་ལྟར་དུ་འབོད། དཔེ་རིས། ༡༨ ཁ ལ་ལྟོས།)གྲགས་པའི་འདུས་རྟུལ་གཞན་རྣམས་ལ་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་བ་རེད། དེ་ནས་འཕྲིན་པ་གཉིས་པ་(འདི་ལ་"ལུས་ཀྱི་འཚར་འཕེལ་དང་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས"མིང་བྱུང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གསུམ་པར་རྒྱས་པར་གྲོས་སྦྱར་བྱས་པའི་འཁོར་རྒྱུན་ཨེ་ཨེམ་པི་འདུས་རྟུལ་ཟེ་བའི་ནང་གསེས་རིགས་སྣ་ཚོགས་ཡོད།)རྣམས་ཀྱིས་སྨིན་རྫས་སམ། ཡང་ན་འདུས་རྟུལ་གཞན་དག་ལ་ཡར་སློང་བྱེད་པ་རེད། འདུས་རྟུལ་འདི་དག་རིགས་རྫས་སད་བྱེད་ཀྱི་སྤྲི་རྫས་དེ་འདྲ་ཡིན་སྲིད་ལ། ཡང་ན་འདི་དག་གྲེས་རྟུལ་རྒྱུ་ལམ་མམ། ཡང་ན་འབྱུད་པ་འམ། ཡང་ན་དབང་རྩ་འཕྲིན་པའི་སྣེ་ལེན་པ་དེ་འདྲ་ཡིན་སྲིད། སྦྲེལ་སྦྱོར་འདི་ཀུན་ལ་(སྐར་ཆའི་སྟོང་ཆ་བརྒྱ་ཕྲག་དུ་མ་ནས་སྐར་མ་ཁ་ཤས་བར་གྱི་)དུས་ཡུན་འགོར་བ་ཡོད་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ཧེ་སྤྲི་རྫས་ལ་མཐུད་སྦྱོར་ཅན་གྱི་སྣེ་ལེན་པ་ལ་འགྲུབ་པའི་བྱ་གཞག་དེ་དག་གྲེས་རྟུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པ་ལ་ལྟོས་ཏེ་འགོར་གཡིས་ཆེ་བ་ཡོད། དེ་ལྟར་ནའང་། གནས་སྟངས་འདི་གཉིས་ཀར་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་ལ་ཐོག་པའི་རྗེས་འབྲས་ཀྱི་འགྱུར་བ་ཧེ་འབྱུང་ལ་གཞིགས་ཏེ་ངར་སད་ཡང་ན་འགོག་སྡོམ་ཅི་རིགས་པའི་ཡ་ལན་གྱི་རྣམ་པ་འཐོན་སྲིད།



དཔེ་རིས། ༡༩ དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཁེར་རྐྱང་('ང')ཞིག་ལ་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་མང་པོ་ཞིག་('ཀ' ནས 'ག' བར)ནས་ཆ་འཕྲིན་རྒྱུ་ཆ་འབྱོར་ལ། དེ་ལྟའི་རྒྱུ་ཆའི་ཁྲོན་འབོར་གྱི་བསྡོམས་གྲངས་དེས་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པའི་ཚོད་དུ་སྐྱེལ་མི་སྐྱེལ་གྱི་གཏན་འཁེལ་བྱེད་པ་རེད།

དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཁེར་རྐྱང་ཞིག་ལའང་རང་དང་བརྡ་ལན་གཏོང་རེས་བྱེད་པའི་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་སྟོང་ཕྲག་མང་པོ་ཡོད་ཚོག་ཅིང་། མཐུད་མཚམས་འདི་དག་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེའི་བརྡ་ལེན་རྩ་ཕྲན་རྣམས་དང་ཕྲ་ཕུང་ལུས་གཉིས་ཀར་འབྱུང་ཚོག་པ་ཡིན། རང་དང་འབྲེལ་བའི་མཐུད་མཚམས་ཀུན་ལ་འབྱོར་བའི་བརྡ་འཕྲིན་དུ་མ་དེ་རྣམས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཁེར་རྐྱང་པ་དེ་དག་རེ་རེས་དུས་གཏན་དུ་ཕྱོགས་སྡོམ་རྒྱག་པར་ཞུགས་ལ།(དཔེ་རིས། ༡༩) དེ་ལྟར་དུ་ཆ་འཕྲིན་སྡོམ་སྒྲིག་རྒྱག་པའི་བྱེད་རིམ་དེར་ཕྱོགས་བསྡོམས་བྱ་བ་ཟེར་བ་རེད། གོང་དུ་སྨྲོས་པ་བཞིན། བརྡ་འཕྲིན་འདི་དག་ལས་འགའ་རེ་(གློག་ཁུར་མར་གཅོག་

summation. As we mentioned, some of these signals will be inhibitory (decreasing charge), while some will be excitatory (increasing charge). The many simultaneous signals may or may not sum up to a voltage that reaches the threshold potential at the axon hillock. If the threshold level of excitation is reached, an action potential fires and the signal is passed down the neuron to other parts of the nervous system.

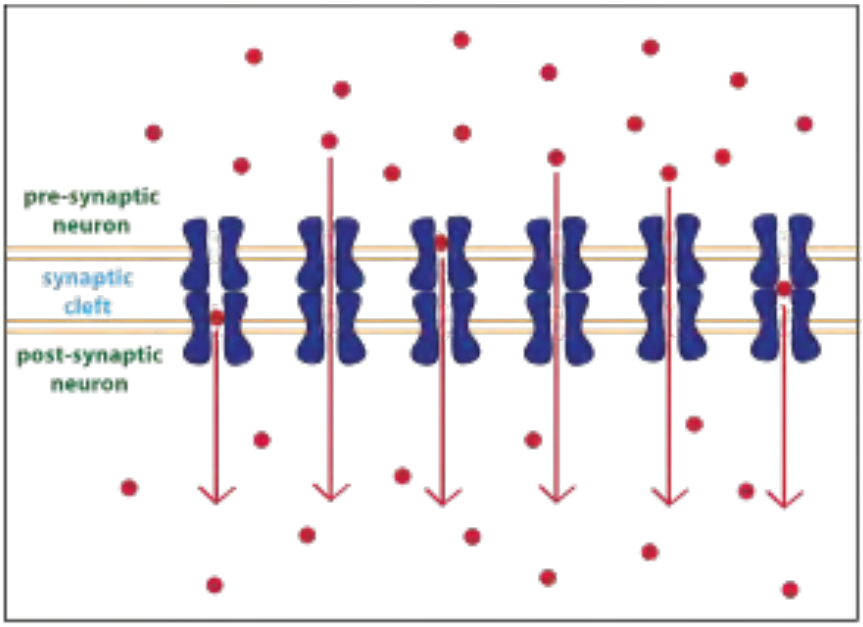
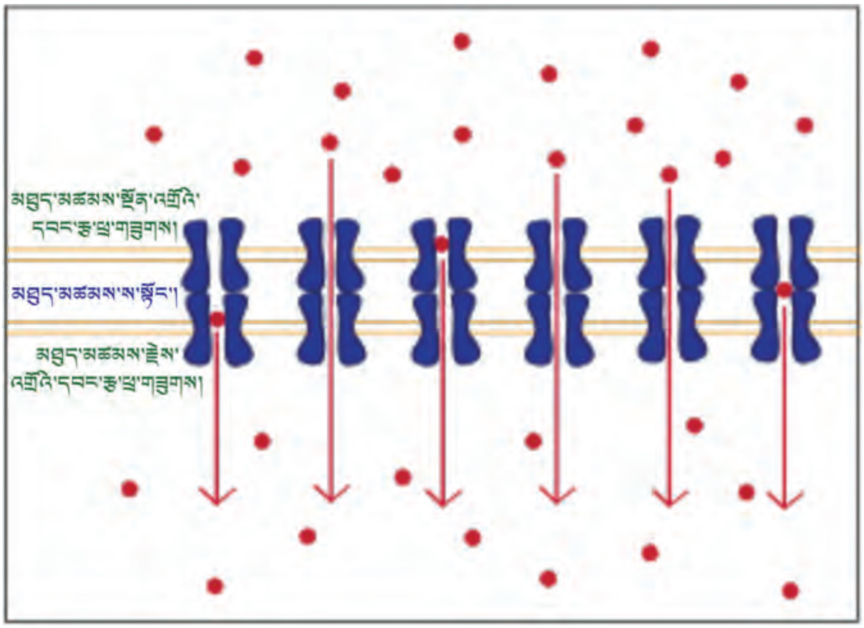


Figure 18: Gap junctions form when channels on the pre- and post-synaptic neuron are perfectly aligned with one another.

A rare, but even faster way that a few neurons interact is by skipping the neurotransmitter-chemical step of neurotransmission altogether (Figure 18). Via these purely electrical synapses, two neurons are directly connected through a gap junction. Gap junctions are composed of exactly aligned pairs of channels at the membranes of the pre- and post-synaptic neurons. The space through the membranes created by gap junctions is much bigger than that of ionotropic channels. Thus, relatively larger molecules can move from one neuron to the other. Ions, which are very small, can move easily through the gap junctions at electrical synapses. The result is that action potentials can move from one neuron to the next, as if they the two neurons were one, taking even less than a millisecond. What do you think would be advantages and disadvantages of such neurotransmission? Why do you think this mechanism is so rare in us?

One hint to help you answer these questions is that gap junctions are found not only in the brain but in muscles all over the body, and they play a very important role in cardiac functioning. Because the physical proximity allows two cells to act as if they are one, gap junctions are thought to cause synchrony in an assemblage of cells, which allows the muscles of the heart to contract concurrently. In the brain, gap junctions may be important for the development of the nervous system and are thought to facilitate complex neural processes such as learning and memory. However, it is very likely that neural synchrony is not always a good thing – it is thought that pathological activity in gap junctions may contribute to, and in some cases even initiate seizures, a condition in which a grouping of neurons exhibits abnormally rapid and synchronous firing.



དཔེ་རིས། ༡༨ དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་ཤིག་གི་སྔོན་དང་རྗེས་ཀྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་སོ་སོའི་རྒྱུ་ལམ་རྣམས་ཕན་ཚུན་ཐད་སོར་འཁེལ་ཚེ་དེ་དག་གི་བར་ན་བར་ཆོགས་ཤིག་འགྲུབ་ཀྱི་ཡོད།

པའི་)འགོག་སྡོམ་གྱི་ངོ་བོར་འགྱུར་ལ། ཡང་འགའ་ཞིག་(གློག་ཁུར་ཡར་སྤེལ་བའི་)ངར་སད་ཀྱི་ངོ་བོར་འགྱུར་ངེས་རེད། དུས་མཉམ་དུ་འབྱུང་བའི་བརྡ་འཕྲིན་དེ་རྣམས་ཡར་བསགས་བཞིན་དུ་བརྡ་སྤེལ་འབུར་ཚུང་གི་ཚིགས་སུ་འགྱོར་བ་ན་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པའི་ཚད་དུ་སོན་པར་ངེས་པར་ཆང་དགོས་པའི་ཕྱོལ་ཚད་ཀྱི་འབོར་གྲངས་ལོངས་མ་ལོངས་ཅི་རིགས་ཡོད། གལ་ཏེ་ངར་སད་ཀྱི་ཐེམ་མཚམས་རིམ་པར་སོན་ན། ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་འཕེན་པས། བརྡ་འཕྲིན་དེ་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་རྒྱུད་དུ་མར་རྒྱུག་སྟེ་དབང་རྩ་མ་ལག་གི་ཆ་ཤས་གཞན་དུ་རྒྱུ་བ་རེད།

དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཙུང་ཤས་ཤིག་དབར་ཕན་ཚུན་སྤྲེལ་སྦྱོར་བྱེད་ཚུལ་སྔར་བསྟན་པ་དེ་ལས་ཙུང་མགྱོགས་ཀྱང་འབྱུང་དགོན་པའི་བྱ་ཐབས་ཤིག་ནི་དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་རིམ་གྱི་ནང་གསེས་རྫས་འགྱུར་འཕྲིན་པར་བརྟེན་པའི་བང་རིམ་དེ་རྩ་བ་ནས་གཡོལ་རྒྱུ་དེ་རེད།(དཔེ་རིས། ༡༨) དེ་ལ་གློག་འགྱུར་ཁེ་གཙང་གིས་གྲུབ་པའི་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་འདི་དག་གི་ལམ་ནས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཉིས་བར་ཚིགས་ཤིག་གི་བརྒྱུད་ནས་ཕན་ཚུན་ཐད་ཀར་སྤྲེལ་ནས་འཕོད་ཡོད། དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་ཤིག་གི་སྔོན་དང་རྗེས་ཀྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གི་སྐྱི་པགས་ཁྲོན་གྱི་རྒྱུ་ལམ་རྣམས་ཐད་སོར་འཁེལ་བ་ལས་བར་ཚིགས་འདི་དག་འགྲུབ་ཀྱི་ཡོད། བར་ཚིགས་ཀྱིས་བསྐྲུན་པའི་སྐྱི་པགས་བརྒྱུད་ཀྱི་སྟོང་ཆ་དེ་གྲེས་རྡུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པ་དག་གིས་གྲུབ་པའི་རྒྱུ་ལམ་གྱི་སྟོང་ཆ་ལས་ཧ་ཅང་ཆེ་བ་ཡོད། དེར་བརྟེན་ལྟོས་འཛོག་གིས་འདུས་རྡུལ་ཆེ་བའི་རིགས་ཀྱང་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཅིག་ནས་གཞན་ལ་འཕོ་ཐུབ་ཀྱི་ཡོད། ཧ་ཅང་ཆུང་དུ་ཡིན་པའི་གྲེས་རྡུལ་རྣམས་གློག་འགྱུར་གྱི་མཐུད་མཚམས་སུ་ཡོད་པའི་བར་ཚིགས་བརྒྱུད་ནས་ཧ་ཅང་ལས་སླ་པོའི་ངང་བསྐྱོད་ཐུབ། དེའི་འབྲས་བུར་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཅིག་ནས་གཞན་ཞིག་བར་བགྲོད་པའི་ལས་འཇུག་ནུས་པ་དེ་དག་གིས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་གཉིས་པོ་གོང་བུ་གཅིག་ཡིན་པ་ལྟ་བུ་སྐར་ཆའི་སྟོང་ཆ་གཅིག་ལས་ཐུང་བའི་དུས་ཡུན་ནང་བགྲོད་ཐུབ་ཀྱི་ཡོད། ཁྱོད་ལྟར་ན་འདི་ལྟའི་དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་རིམ་ལ་དགེ་མཚན་དང་ཞན་ཆ་གང་ཡོད་དམ། ཁྱོད་ལྟར་ན་ཐབས་འཕྲུལ་འདི་ང་ཚོའི་ཁོག་ནང་དུ་ཧ་ཅང་དགོན་པོར་གྱུར་པ་འདི་ཅིས་ཡིན་ནམ།

ཊི་བ་དེ་དག་ལ་གདབ་རྒྱུའི་ཁྱོད་ཀྱི་ལན་གྱི་རྣམ་པ་དེར་ཕན་ཐོགས་བྱེད་སྲིད་པའི་བརྡ་སྟོན་ཞིག་བྱེད་ན་འདི་ལྟ་སྟེ། གླད་པ་ཙམ་དུ་མ་ཟད། མིའི་ལུས་པོའི་ཁྲོན་ཡོངས་ཀྱི་ཤ་གནད་རྒྱུད་དུའང་བར་ཚིགས་དེ་འདྲ་ཡོད་ཅིང་། དེ་དག་སྙིང་ཁམས་ཀྱི་ལས་ཚུལ་ལ་ཧ་ཅང་འབྲེལ་བ་ཡོད། ཕྲ་ཕུང་གཉིས་ཉེ་འཁྲིས་སུ་འཁོད་པ་དེས་དེ་གཉིས་གོང་བུ་གཅིག་ལྟ་བུར་ལས་ལ་འཇུག་ཐུབ་བར་བྱེད་པས། དེ་དག་དབར་གྱི་བར་ཚིགས་ཀྱིས་ཐུབ་སྟེ་གནས་པའི་ཕྲ་ཕུང་དག་གི་ཁྲོད་དུ་མཉམ་ཞུགས་ཀྱི་རང་བཞིན་བསྐྲུན་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་སྙིང་གི་ཤ་གནད་རྣམས་ཕན་ཚུན་དུས་མཉམ་དང་འདུ་འཁུམ་བྱེད་དུ་སྟེར་རོ། །གླད་པའི་ནང་དུ་ནི་བར་ཚིགས་འདི་དག་དབང་རྩ་མ་ལག་གི་འཚར་འཕེལ་ལ་གནད་ཆེ་ཞིང་། ཤེས་སྦྱོང་བསྐྱེན་རྒྱུ་དང་དྲན་པ་བསྐྱེན་རྒྱུ་ལྟ་བུ་དབང་རྩའི་བྱེད་རིམ་རྙོག་འཛིང་ཅན་རྣམས་ལ་རམ་འདེགས་ཀྱང་བྱེད་སྲིད་པར་འདོད། དེ་ལྟར་ནའང་དབང་རྩའི་མཉམ་ཞུགས་ཀྱི་བྱ་བ་ནི་གཅིག་ཏུ་བཀྲ་ཤིས་པ་ཞིག་ཡིན་མི་དགོས་ཏེ། བར་ཚིགས་ཁྲོད་ཀྱི་ཉམས་སྐྱོན་བྱ་གཞག་གིས་འདར་ནད་ཀྱི་ཆ་རྐྱེན་བསྐྲུན་སྲིད་པ་དང་། སྐབས་འགར་དེ་ཉིད་ཀྱིས་འདར་ནད་དངོས་གཞི་སློང་སྲིད་པར་ཡང་འདོད། དེ་ཡང་འདར་ནད་ནི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་ཚོགས་འདུས་ཤིག་གིས་རྒྱུན་ལྡན་དང་མི་འདྲ་བར་ཧ་ཅང་མགྱོགས་མྱུར་དང་དུས་མཉམ་དུ་(ལས་འཇུག་ནུས་པ་)འཕེན་པའི་གནས་སྟངས་ཤིག་ལ་གོ་བ་རེད།

HOW DO THESE BASIC NEURAL PROCESSES LEAD TO VARYING OUTCOMES?

You can see that evolution has built much diversity into neural signaling. Let's take the senses as an example. Think about all the steps that are involved—from the initial signal to the sending of the signal to the response to that signal. We will look more closely at each step to appreciate the diversity.

First, there is the initial signal received from the environment; we examine many of these receptors in other primers. Sense receptors allow us to see, hear, smell, taste and touch (Figure 19). Somatosensory receptors in skin allow sensing of touch, pain, and temperature change. Proprioceptors in muscles interpret force, length, and velocity of muscles, all necessary information for the coordination of movement. Sensors in our inner ear tell us about the angle of our heads and our body balance and movement. As you can see in Figure 19, although these receptors are somewhat different in their location in the body and in their molecular structure, they all are also very similar in that they all have one axon and multiple dendrites. Another similarity is that they involve protein channels on the membrane that alter upon stimulation to allow a change in membrane potential.

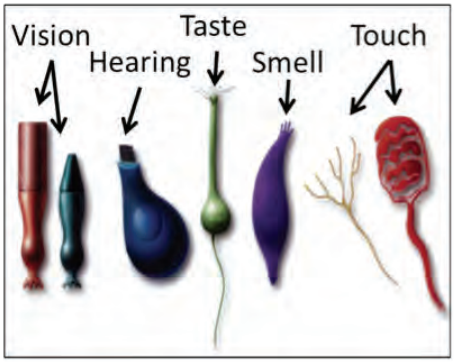
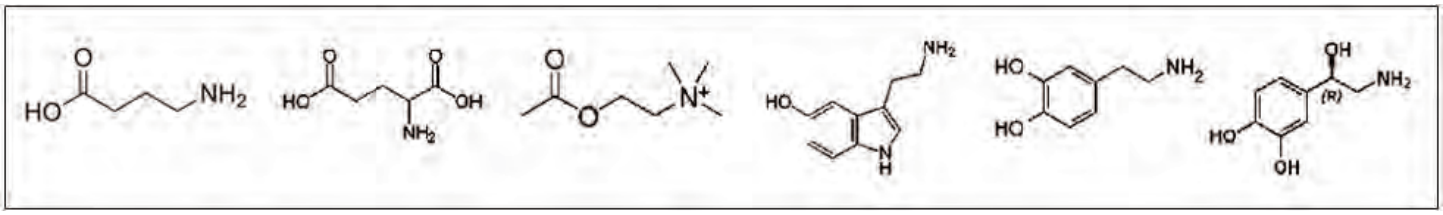


Figure 19: Types of sensory receptors.

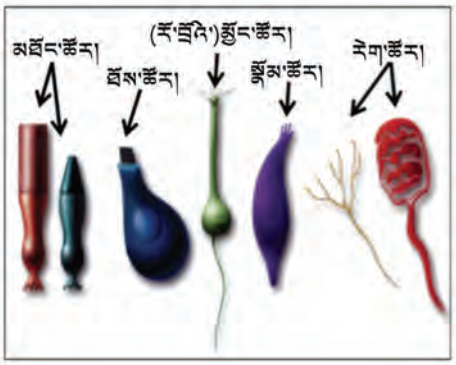
Another way to diversify the system is to evolve different types of neurons with different shapes and properties, as well as different types and numbers of connections. There is also incredible diversity in the kinds of neurotransmitters that neurons use (Figure 20), as well as the receptors that bind to them and send signals on to other neurons. Moreover, one neuron may receive and send more than one neurotransmitter. Interactions between neurotransmitter and receptor can have a wide range of effects on membrane potential, and over variable time spans. This extensive diversity allows for tremendous flexibility in neural signaling – a good thing when you consider all the important functions your nervous system serves! Indeed, all of these variables are at play as you walk through the woods and respond to the upset boy.

Figure 20: Diversity of neurotransmitters. Structures for some of them are shown here: (from left to right) GABA, glutamate, acetylcholine, serotonin, dopamine and norepinephrine.



དབང་རྩའི་རྒྱང་གཞིའི་བྱེད་རིམ་འདི་དག་གིས་ཐོན་འབྲས་སྣ་ཚོགས་པ་རྣམས་ཇི་ལྟར་འདྲེན་ནམ།

ཁྱོད་ཀྱིས་མཐོང་ཐུབ་པ་བཞིན། འཕེལ་འགྱུར་རྒྱུད་རིམ་གྱིས་དབང་རྩའི་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་འགྲོས་ཀྱི་བྱེད་རིམ་ཁྲོད་བྱེ་བྲག་གི་ཁྱད་པར་སྣ་ཚོགས་ཤིག་བསྐྱེད་ཡོད། འདིར་དཔེ་མཚོན་གྱི་ཚུལ་དུ་དབང་ཚོར་རྣམས་ཁྱད་གཞིར་འཛིན་ན་ཆོག དེ་དག་དང་འབྲེལ་བའི་བང་རིམ་ཀུན་ལ་ཁྱོད་ཀྱིས་གཅིག་སོམས་དང་། དེར་ཐོག་མའི་བརྡ་འཕྲིན་སོན་པ་ནས་འགོ་བརྩམས་ཏེ་བརྡ་འཕྲིན་དེ་འདྲེན་ཞིང་གཏོང་བ་དང་། དེ་ནས་བརྡ་འཕྲིན་དེར་ཡ་ལན་སྤྲོད་པའི་བར་ཚུད་ཡོད། དེ་ལྟའི་རྣམ་གྲངས་པའི་རྣམ་པ་དེ་ཇི་ལྟ་བ་བཞིན་ཁོང་དུ་ཆུད་པའི་ཆེད་ང་ཚོས་དེའི་བང་རིམ་རེ་རེར་ཞིབ་ཚགས་སུ་ལྟ་སྐོར་ཞིག་རྒྱག་ན་འདོད།

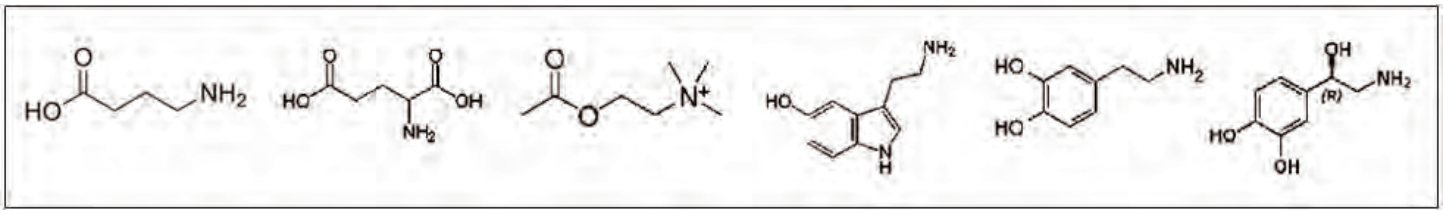


དཔེ་རིས། ༡༩ དབང་ཚོར་སྣེ་ལེན་པའི་རིགས།

ཐོག་མར་ཁོར་ཡུག་ནས་ཚུར་ཐོབ་པའི་ཐོག་མའི་བརྡ་འཕྲིན་རྣམས་ཡོད་ལ། དེ་དག་དང་འབྲེལ་བའི་སྣེ་ལེན་པ་དུ་མ་ཞིག་གི་སྐོར་ང་ཚོས་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཞན་དག་ཏུ་ཞིབ་དཔྱོད་བྱས་ཟིན། དེ་ཡང་དབང་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་དག་གིས་ང་ཚོས་མཐོང་བ་དང་། ཐོས་པ། སྣོམ་པ། རོ་བྲོ་བ། རེག་བྱ་མྱོང་བ་བཅས་བྱེད་དུ་སྟེར་བ་རེད།(དཔེ་རིས། ༡༩) བཀག་པའི་ནང་གི་ལུས་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་དག་གིས་ང་ཚོར་རེག་བྱ་དང་། ཟུག་རྔུ། དྲོད་ཀྱི་འགྱུར་བ་ཤེས་སུ་འཇུག་པ་དང་། ཡང་ཤ་གནད་ནང་གི་བབས་འགྱུར་སྣེ་ལེན་པ་དག་གིས་འགུལ་སྐྱོད་འཚམ་སྒྲིག་གི་བྱ་བར་མཁོ་བའི་ཆ་འཕྲིན་ཀུན་ཏེ། ཤ་གནད་ཀྱི་སྐུམ་བསྐྱེའི་ནུས་ཤུགས་དང་། རིང་ཐུང་གི་ཚད། སྒྱུར་ཚད་བཅས་ལ་གློག་འཕྲོལ་རྒྱག་པ་རེད། ང་ཚོའི་རྣ་ལྟོག་ནང་མའི་ནང་གི་སྣེ་ལེན་པ་དག་གིས་ང་ཚོའི་མགོའི་ཁ་ཕྱོགས་དང་། ལུས་པོའི་སྙོམ་སྒྲིག་བྱ་བ། ལུས་པོའི་འགུལ་སྐྱོད་བཅས་ཀྱི་སྐོར་ང་ཚོར་སྔ་སྟོན་བྱེད་པ་རེད། དཔེ་རིས་ ༡༩ ནང་ཁྱོད་ཀྱིས་མཐོང་བ་བཞིན། སྣེ་ལེན་པ་འདི་དག་ལུས་པོའི་ཆ་ཤས་གང་དུ་འཁོད་མིན་དང་། དེ་དག་གི་འདུས་རྡུལ་རིམ་པའི་ཆགས་བཀོད་བཅས་པ་ཐ་དད་ཡིན་ཡང་། དེ་ཀུན་ལ་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཐག་གཅིག་རེ་དང་བརྡ་ལེན་རྩ་ཐག་དུ་མ་རེ་ཡོད་པ་ཡོངས་སུ་མཚུངས་པ་ཡིན། དེ་ལས་གཞན་པའི་མཚུངས་ཆོས་ཤིག་ནི། དེ་དག་སོ་སོའི་སྐྱི་པགས་སྟེང་དུ་སྤྲི་རྫས་ལས་གྲུབ་པའི་སྟོང་ཆ་དེ་འདྲ་ཡོད་ཅིང་། སྤྲི་རྫས་དེ་དག་ལ་སྐུལ་རྐྱེན་བཏབ་པ་ལས་འགྱུར་བ་སློང་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་ལ་འགྱུར་བ་ཐེབས་སུ་འཇུག་པ་དེ་རེད།

དབང་རྩ་མ་ལག་ལ་ལྡན་པའི་སྣ་མང་རང་བཞིན་གྱི་རྣམ་པ་གཏོང་ཚུལ་གཞན་ཞིག་ནི་བཀོད་དབྱིབས་དང་ཁྱད་ཆོས་ཐ་དད་ཡོད་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་འདྲ་འཕེལ་འགྱུར་འབྱུང་བ་དང་ཆབས་ཅིག་དེ་དག་པན་ཚུན་གྱི་མཐུད་སྦྱོར་རྣམ་པ་དང་རྣམ་གྲངས་ཐ་དད་པ་དོད་རྒྱུ་དེ་རེད། གཞན་ཡང་། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གིས་སྤྱོད་སྒོར་བསྟེན་པའི་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་(དཔེ་རིས། ༢༠)དང་། འཕྲིན་པ་དེ་དག་ལ་འཛིན་སྡོམ་བྱེད་ཅིང་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་ལ་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་བའི་སྣེ་ལེན་པ་བཅས་ཀྱི་ཁྲོད་དུའང་སྣ་མང་གི་རང་བཞིན་ཆེས་མཚར་ལོས་པ་ཞིག་ཡོད། དེར་མ་ཟད། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཅིག་གིས་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་གཅིག་ལས་མང་བ་ཚུར་བསྡུ་བ་དང་ཕར་རྫོང་བ་བཅས་བྱེད་སྲིད། དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་དང་སྣེ་ལེན་པའི་དབར་འགྲུབ་པའི་སྦྲེལ་སྦྱོར་བྱ་བས་སྐྱི་མོའི་ནུས་པའི་སྟེང་དུ་བྱེད་ནུས་སྣ་ཚོགས་སྟོབ་ཅིང་། བྱེད་ནུས་དེ་དག་ཀྱང་དུས་ཡུན་སྣ་ཚོགས་སུ་གནས་པ་རེད། འདི་ལྟའི་རྒྱ་ཆེ་བའི་སྣ་རིས་སུ་ཚོགས་ཀྱི་རྣམ་པས་དབང་རྩའི་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་འགྲོས་ཀྱི་བྱ་བ་ཏ་ཅང་མཉེན་ལྕུག་ལྡན་པ་བཟོ་རྒྱུར་རམ་འདེགས་བྱེད་ལ། དེ་ནི་ཁྱོད་ཀྱིས་ཀུང་རང་གི་དབང་རྩ་མ་ལག་གིས་འགྲུབ་པའི་བྱེད་ལས་གལ་ཆེན་ཀུན་ལ་བསམ་གཞིག་བྱེད་པ་ན་བཟང་ཕྱོགས་ཀྱི་གནས་དོན་ཞིག་ཏུ་ཁུམས་པར་ངེས། དོན་དངོས་སུའང་། ཁྱོད་ཉིད་ནགས་ཀླུང་དེའི་བརྒྱུད་དུ་གོམ་ཁ་གཏོང་ཅིང་སེམས་འཕྱོ་བའི་སྦྲུ་གུ་དེར་ཡ་ལན་སྤྲོད་བཞིན་པ་དང་དུས་མཚུངས་སུ་གོང་གསལ་སྣ་མང་གི་རྣམ་པ་དེ་ཀུན་གྱིས་རང་རང་གི་ལས་ལ་འཇུག་གིན་ཡོད།

དཔེ་རིས། ༢༠ དབང་རྩ་འཕྲིན་པའི་རྣམ་འགྱུར་སྣ་ཚོགས་པ། དེ་དག་གི་ཁོངས་ནས་ཁ་ཤས་ཀྱི་ཆགས་བཀོད་འདིར་མཚོན་འགྲེལ་བྱས་ཡོད་དེ། (གཡོན་ནས་བརྩིས་ན་)ཀྐ་ཀྦ། གྷུ་ལུ་ཊ་མེ། ཨེ་སི་ཊེལ་ཁོ་ལིན། སི་རོ་ཊོ་ནིན། ཌོ་པ་མིན། ནོར་ཨེ་པི་ནེབ་རིན་བཅས་ཡིན།



Box 5. IN DEPTH: DIVERSITY OF FORM AND FUNCTION THROUGHOUT THE NERVOUS SYSTEM

Here are some of the different neuron types in the brain. Think about what you know about structure and function, and consider what the structural differences in these cells might mean for function. A. Purkinje cell B. Granule cell C. Motor neuron D. Tripolar neuron E. Pyramidal Cell F. Chandelier cell G. Spindle neuron H. Stellate cell (Credit: Ferris Jabr; based on reconstructions and drawings by Cajal). See http://neuromorpho.org/neuroMorpho/index.jsp for a catalogue of neurons by neuroscientists, and Browse the Cell Types page

WHERE NERVES MEET MUSCLE: THE NEUROMUSCULAR JUNCTION

Another example of the extreme variation found in the different types of neural connections is a specific type of neuron called the motorneurons. Rather than communicating with other neurons, these neurons, whose cell body lies in the brain, interact directly with muscle cells. As we've seen, the story about you walking through the woods and helping the young boy

ཁྲོམ་བྱ་ལྟ་བ། གཉིད་ཚུགས་པའི་ལྷ་ཞིབ། དབང་ཆ་མ་ཡག་གི་ཁྲོན་ཏུ་མཐོང་བའི་ཚགས་བཀོད་དང་བྱེད་ལས་ཀྱི་རྣམ་འགྱུར་སྣ་ཚོགས།

འདི་དག་ནི་གླང་པའི་ནང་གི་དབང་ཆ་ཐུག་གསེག་མེ་འབྲ་བའི་ཁོངས་ཀྱི་ཁ་ཤས་ཡིན། ཚགས་བཀོད་དང་བྱེད་ལས་སྐོར་ཁྲོད་ཀྱི་ཐ་གང་ཤེས་པ་རྣམས་འདིར་སྐར་ཡང་ཐྱིར་དྲན་ཞིག་བྱོས་ལ། ཐ་ཤུང་འདི་དག་ལ་མཐོང་བའི་ཚགས་བཀོད་མེ་འབྲ་བའི་གནས་སྐངས་འདི་ས་དེ་དག་གི་བྱེད་ལས་སྐོར་གནས་དོན་གང་ཞིག་མཚོན་མིན་ལ་བསམ་གཞིག་ཀྱིས་དང་། ཀ༽ ཁར་ཀིན་རྡེ་ཐ་ཤུང་། ཁ༽ ཅེགས་མ་ཐ་ཤུང་། ག༽ འགྲལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཐ་ནུགས། ང་༽ སྟེ་གསུམ་དབང་རྩ་ཐ་ནུགས། ཅ༽ གཉིད་གནུགས་ཐ་ཤུང་། ཆ༽ དབྱང་བཞུ་ཐ་ཤུང་། ཇ༽ ཁར་མ་དབང་རྩ་ཐ་ནུགས། ཉ༽ སྐར་གནུགས་ཐ་ཤུང་། (བསྐུར་སྐྱན་བྱེད་ཡོ་བང་རི་མོ་ཁ་སྐུ་ཞབས་ཀ་ཅལ་བང་། དེའི་རིས་མཁོ་འདོན་ཁ་སྐུ་ཞབས་ཆེ་རི་མི་ཅ་བར་རེད།)། དབང་རྩ་ཚན་རིག་ཁ་རྣམས་ཀྱིས་བསྟིགས་བའི་དབང་རྩ་ཐ་ནུགས་ཀྱི་དཀར་ཆག་ལ་བལྟ་འདིར་ཚོལ་ལ། http://neuromorpho.org/neuroMorpho/index.jsp རེར་ཐ་ཤུང་གི་རིགས་''ཞེས་བའི་ཚན་པར་དུ་ཕྱུལ་ཀྱིས།

གང་ཟུ་དབང་རྩ་རྣམས་ཀ་གནད་དང་འཐུད་པའི་གནས། དབང་རྩ་དང་ཀ་གནད་སྦྱེལ་མཚམས།

དབང་རྩའི་མཐུད་སྦྱོར་ཁྲོད་ཟུ་ནང་གསེས་རིགས་མི་འབྲ་བའི་ཁོངས་ནས་ཏ་ཅང་སྦྱི་མཚུངས་མིན་པའི་དེ་ལས་མཚོན་གཞན་ཞེགས་ཀྱི་འགྲལ་སུ་འབོད་པའི་དབང་རྩ་ཐ་ནུགས་ཀྱི་རིགས་དེས་བཟུང་དེ་ཡིན། འདི་དག་གི་ཐ་ཤུང་ལུས་གླང་བར་ཡོད་པ་དང་། འདི་དག་གིས་དབང་རྩ་ཐ་ནུགས་གཞན་དང་འབྲེལ་མོལ་བྱ་རྒྱུའི་ཚབ་ཏུ་ཁ་ཐད་ཀར་ཨ་ཁག་གནད་ཐ་ཤུང་དག་དང་སྦེལ་སྐྱོར་བྱེད་པ་རེད། གོང་ཏུ་ང་ཚོས་མཐོང་བ་བཞིན། ནགས་གླང་ཁྲོན་ཏུ་ཁྲོད་ཀྱི་གོས་ཀྱི་ཁ་དེར་རོགས་སྐྱོར་བྱེད་པའི་བྱ་གཞན་ཁྲོད་དབང་རྩ་ཐ་ནུགས་དག་གིས་བང་རིམ་དུ་མང་ཤ་གནད་དང་འབྲེལ་མོལ་གྱི་བྱ་བར་ཞུགས་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་འགྲལ་སྐྱོད་ཀྱི་བྱ་བ་སྐྱོང་གི་ཡོད། དེ་ཡང་ཆེས་

involves neurons communicating with muscles at many levels, and thus inducing movement. At the most basic level: you are walking, one foot in front of the other, keeping your balance, as in the case when you trip and catch yourself before you fall. But even at the more complex, emotional level, movement is essential: your face muscles and the boy's face muscles form expressions, you move your lips as you talk with the boy, you pick up the boy, your eye muscles move your eyes, etc. Some say that movement is the most vital of our physiological functions, because without movement we would not be able to interact with the world. Thus, we will examine movement very carefully here.

In *LSP-III: Development and Physiology*, we discuss how muscles work together to contract at the organ level within the musculoskeletal system. Here, we will move down to the cellular level.

The synapses where nerves meet muscle are called neuromuscular junctions. As you can see in Figure 21, this specialized synapse looks and acts very much like a neuron-neuron synapse. The pre-synaptic cell is a motoneuron projecting all the way from the spinal cord. The defining feature of motoneurons is that the post-synaptic cell is a muscle cell, and the muscle cells use the changes in membrane potential induced by neurotransmitter released from the motoneurons to activate muscle contraction. The neurotransmitter used by these motoneurons is acetylcholine, and the acetylcholine receptors are ionotropic (recall we discussed ionotropic receptors above, in the section on Chemical Neurotransmission). Binding of acetylcholine to the receptor opens a channel in the middle of the receptor (see Figure 21), which leads to an inflow of sodium into the muscle cell, and therefore depolarization. The depolarization leads to the opening of voltage-gated calcium channels. When these channels open and calcium rushes into the cell, a complex series of reactions then leads to muscle fiber contraction. When your brain sends a signal to bend your arm, this is how the muscles in your arm can make it happen.

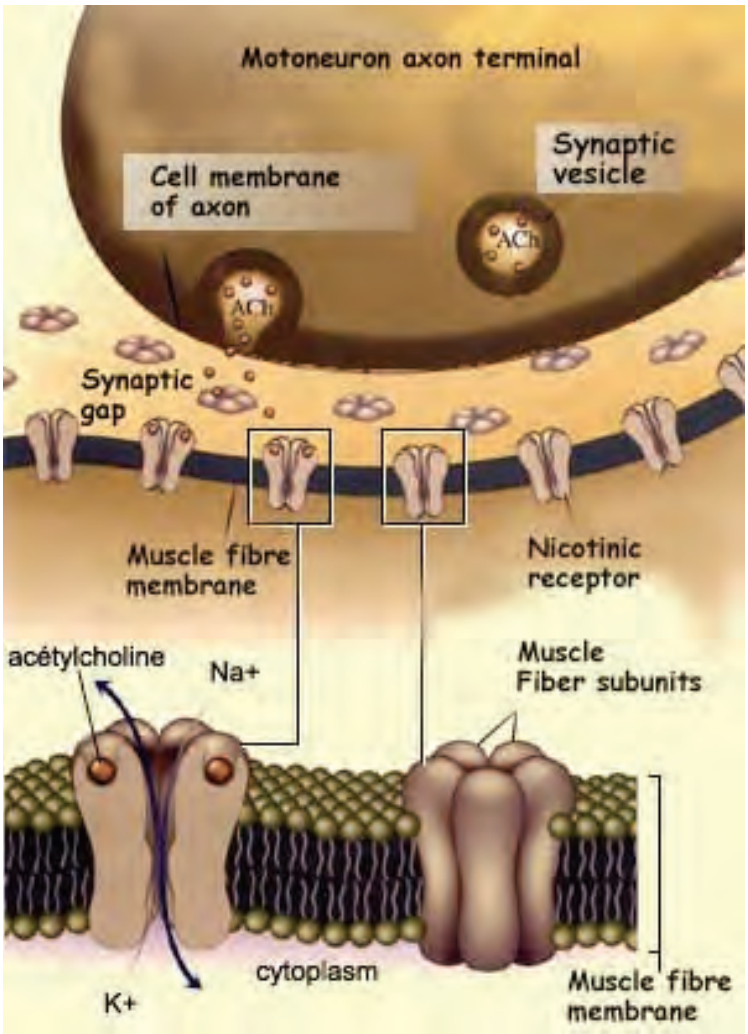
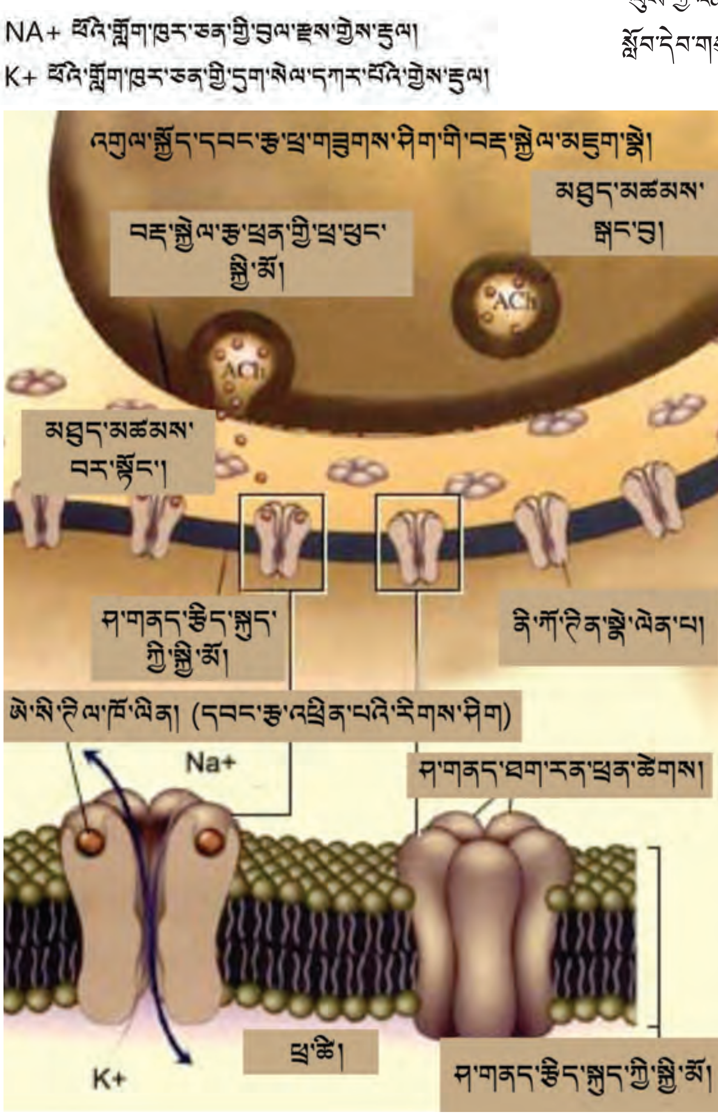


Figure 21: The synapse of a motoneuron at the muscle. Acetylcholine neurotransmitters released by the motoneuron bind to and open receptors on the muscle cell.

རླུང་གཞིའི་རིམ་པར་ནི། ཁྱོད་ཉིད་གོམ་ཁ་གཏོད་བཞིན་དུ། རྐང་མགོ་གཅིག་གི་མདུན་དུ་རྐང་མགོ་གཞན་འཇོག་བཞིན་དུ་བགྲོད་ལ། སྐབས་འགར་རྐང་པ་འཁྲིལ་ཏེ་འགྱེལ་གྲབས་བྱས་ཀྱང་རང་སྲུང་བྱས་པའི་གནས་སྐབས་སུ་ལུས་ཀྱི་སྙོམ་སྒྲིག་གཉེར་སྐྱོང་བྱེད་བཞིན་དུ་བགྲོད་ཡོད། དེ་བས་ཅུང་ཟད་རྙོག་འཛིང་ཆེ་བ་ཞིག་སྟེ། སེམས་སྐྱོང་གི་རིམ་པར་ཡང་འཁྲུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་ནི་མེད་མི་རུང་བ་ཡིན་ཏེ། གདོང་གི་རྣམ་འགྱུར་དོད་པར་ཁྱོད་ཀྱི་གདོང་གི་ཤ་གནད་དང་། དེ་བཞིན་དུ་བྱིས་པ་དེའི་གདོང་པའི་ཤ་གནད་རྣམས་འཁྲུལ་དགོས་ལ། བྱིས་པ་དེར་སྐད་བརྡ་སྤྲོད་ཆེད་ཁྱོད་ཀྱི་མཆུ་སྒྲུལ་ཞིང་། བྱིས་པ་ཡར་འགྲོག་པ་དང་། ཡང་ཁྱོད་ཀྱི་མིག་གཡོ་བར་མིག་གི་ཤ་གནད་དག་གཡོ་འཁྲུལ་བྱས་ཡོད། དེ་ལ་འགའ་ཞིག་གིས། ང་ཚོར་ཡོད་པའི་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས་དང་འབྲེལ་བའི་བྱེད་ལས་གནད་ཆེ་ཤོས་ནི་འཁྲུལ་སྐྱོད་ཡིན་ཏེ། དེ་མེད་པར་ང་ཚོས་གཞན་གང་དང་ཡང་སྤྲེལ་སྦྱོར་མི་ཐུབ་པའི་ཕྱིར་ཞེས་ཀྱང་འདོད། དེས་ན་ད་གཟོད་ང་ཚོས་འཁྲུལ་སྐྱོད་ལ་ཞིབ་ཚགས་ཀྱིས་རྟོག་དཔྱོད་ཅིག་བྱའོ།།

'ལུས་ཀྱི་འཚར་འཕེལ་དང་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས' མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཚེ་སློག་ཚན་རིག་སློན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གསུམ་པར་ང་ཚོས་ཤ་གནད་དང་རུས་ཀྱང་སྦྲེལ་བའི་མ་ལག་ཁྲིད་དབང་པོའི་རིམ་པར་ཁྲུམ་སྟུད་བྱ་བ་འགྲུབ་པར་ཤ་གནད་རྣམས་ཇི་ལྟར་ལས་ལ་འཇུག་ཚུལ་སྐོར་གླེང་ལ། འདིར་ང་ཚོས་ཕྲ་ཕུང་རིམ་པར་མར་བབས་ཏེ་ལས་ཚུལ་དེའི་སྐོར་བགྲོ་གླེང་བྱའོ།།

དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་གང་དུ་དབང་རྩ་རྣམས་ཤ་གནད་དང་འཕྲད་ས་དེར་དབང་རྩ་དང་ཤ་གནད་སྦྲེལ་མཚམས་སུ་འབོད་པ་རེད། ཁྱོད་ཀྱིས་དཔེ་རིས་ ༢༡ ནང་མཐོང་བ་བཞིན་མཐུད་མཚམས་དམིགས་བསལ་ཅན་འདི་ཉིད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ནང་པན་ཚུན་གྱི་མཐུད་མཚམས་ཤིག་དང་སྣང་ཚུལ་དང་ལས་ཚུལ་གཉིས་ཀའི་ཆ་ནས་ཧ་ཅང་འདྲ་བ་ཡིན། མཐུད་མཚམས་སྔོན་འགྲོའི་ཕྲ་ཕུང་ནི་རྒྱུངས་པ་ནས་རིང་བར་ནར་བཞིན་དུ་འཕོད་པའི་འཁྲུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་རེད། འཁྲུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་ལ་ཚང་བའི་དམིགས་བཀར་གྱི་ཁྱད་ཆོས་ཤིག་ལ་དེའི་མཐུད་མཚམས་རྗེས་འགྲོའི་ཕྲ་ཕུང་དེ་ངེས་པར་ཤ་གནད་ཕྲ་ཕུང་ཞིག་ཡིན་དགོས་ཤིང་། དེ་འདྲའི་ཤ་གནད་ཕྲ་ཕུང་དེས་ནི་འཁྲུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་ནས་གློད་འདོན་བྱུང་བའི་དབང་རྩ་འཕྲིན་པས་བསྐུལ་བའི་སྐྱི་མོའི་ནུས་པ་གང་དེར་ཐོག་པའི་འགྱུར་བ་རྣམས་ཤ་གནད་ཁྲུམ་བསྡུའི་བྱ་བ་སློང་ཆེད་དུ་བེད་སྤྱོད་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། འཁྲུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་འདི་དག་གིས་སྤྱོད་པའི་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་ནི་ཨེ་སི་ཊི་ལ་ཁོ་ལིན་ཡིན་ཞིང་། ཨེ་སི་ཊི་ལ་ཁོ་ལིན་སྣེ་ལེན་པ་རྣམས་ནི་གྱེས་རྡུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པའི་རིགས་ཡིན། (གོང་དུ"རྫས་འགྱུར་གྱི་དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་རིམ"ཞེས་པའི་ལེ་ཚན་དེར་ང་ཚོས་གྱེས་རྡུལ་འཛིན་པའི་སྣེ་ལེན་པའི་སྐོར་གྲོས་སྡུར་བྱས་པ་དེ་འདིར་དྲན་དགོས།) སྣེ་ལེན་པ་གང་ཞིག་ལ་ཨེ་སི་ཊི་ལ་ཁོ་ལིན་འཆིང་སྦྱོར་ཐེབས་པ་དེས་སྣེ་ལེན་པ་དེའི་ལྟེ་བར་ཡོད་པའི་རྒྱ་ལམ་ཞིག་ཁ་འབྱེ་རུ་འཇུག་ལ། (དཔེ་རིས། ༢༡ ལ་ལྟོས།) དེས་ཤ་གནད་ཕྲ་ཕུང་དེའི་ནང་དུ་བུལ་རྫས་ཞུགས་སུ་འཇུག་ཅིང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་སྣེ་འདུམ་བྱེད་རིམ་སློང་བ་རེད། སྣེ་འདུམ་བྱུང་བ་དེས་ཕྱོལ་རྟེན་སྒོ་བཙད་ཀྱི་དཀར་ཤམ་རྒྱ་ལམ་དེ་འདྲ་འབྱེ་རུ་འཇུག་གི་ཡོད། དེ་ལྟར་རྒྱ་ལམ་དེ་དག་ཁ་བྱེ་བ་དང་། ཕྲ་ཕུང་ནང་དཀར་ཤམ་བྲེལ་རྒྱུག་བྱེད་པ་ན་རྙོག་འཛིང་ཅན་གྱི་སྦྲེལ་སྦྱོར་ནང་མར་བརྒྱུད་པ་བཅས་ལས་ཤ་གནད་ཀྱི་རྩ་རྒྱུས་ཁྲུམ་པར་བྱེད་པ་རེད། ཚུལ་འདི་ནི་ཁྱོད་ཀྱི་ཀླད་པས་ཁྱོད་ཀྱི་དཔུང་ངར་བསྐུམ་པའི་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་སྐབས་དཔུང་ངར་ཤ་གནད་རྣམས་ཀྱིས་སྐབས་འབྲེལ་གྱི་ལས་དོན་འགྲུབ་ཚུལ་གྱི་རྣམ་པ་ཞིག་རེད།



དཔེ་རིས། ༢༡ ཤ་གནད་ཀྱི་མཚམས་སུ་འཕོད་པའི་འཁྲུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་གི་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས། འཁྲུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱིས་གློད་འདོན་བྱས་པའི་ཨེ་སི་ཊི་ལ་ཁོ་ལིན་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་དག་གིས་ཤ་གནད་ཕྲ་ཕུང་སྟེང་གི་སྣེ་ལེན་པ་དག་ལ་འཆིང་སྦྱོར་བྱེད་ཅིང་དེ་དག་གི་ཁ་འབྱེད་པར་བྱེད།

REGULATION OF THE SIGNAL

One final example of the diversity in neurotransmission that we will consider arises with respect to how the nerve signal is regulated. We've already talked about one built-in type of neuron regulation. Recall that neurons only fire if they reach their threshold potential. So, each neuron will only fire if its many excitatory and inhibitory signals add up to at least that threshold potential.

Two other types of regulation occur at synapses to control the impact of each pre-synaptic depolarization event on the receiving cell. Reuptake is prominent in nearly all synapses (Figure 22). Proteins called transporters on the pre-synaptic neuron cell membrane move neurotransmitters back into the pre-synaptic cell so the neurotransmitters can no longer activate the post-synaptic cell (muscle or other neuron). These neurotransmitters are recycled into vesicles and used later for further neurotransmission.

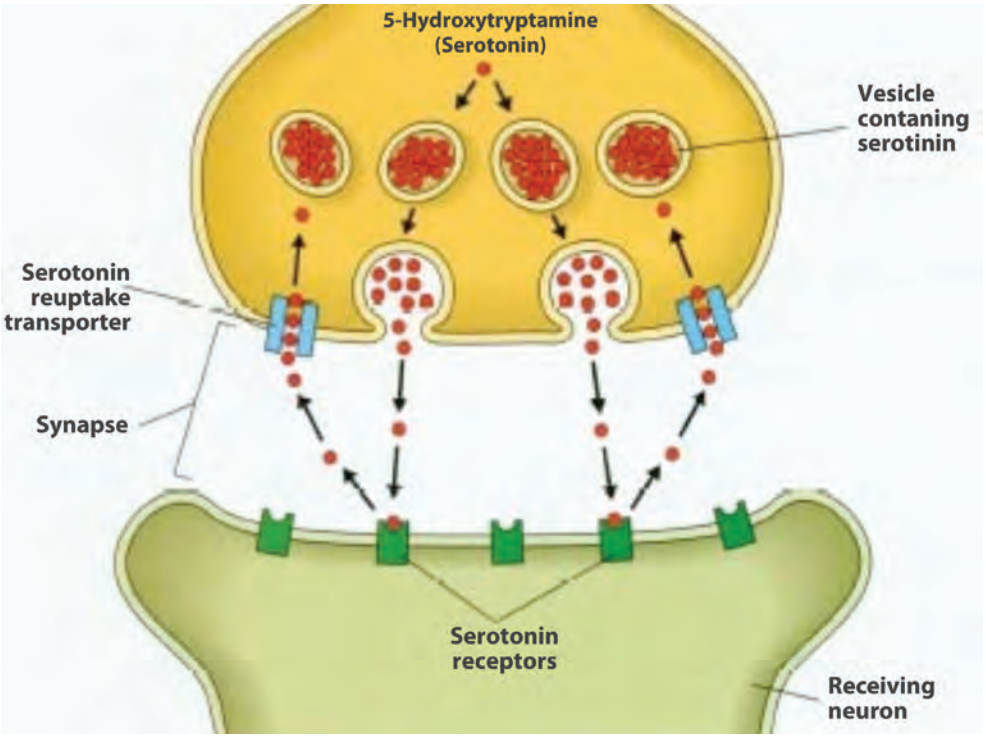


Figure 22: Reuptake transporters move neurotransmitter from the synapse back into the pre-synaptic cell.

The second type of regulation is degradation. This happens when a specific enzyme digests neurotransmitter in the synaptic cleft or space, so the neurotransmitter can no longer activate the post-synaptic cell. For example, in the neuromuscular junction, acetylcholinesterase degrades acetylcholine to stop the signal. Imagine what would happen if reuptake and degradation did not take place. This type of regulation is very important; otherwise the signals of neurons would continue to be sent non-stop.

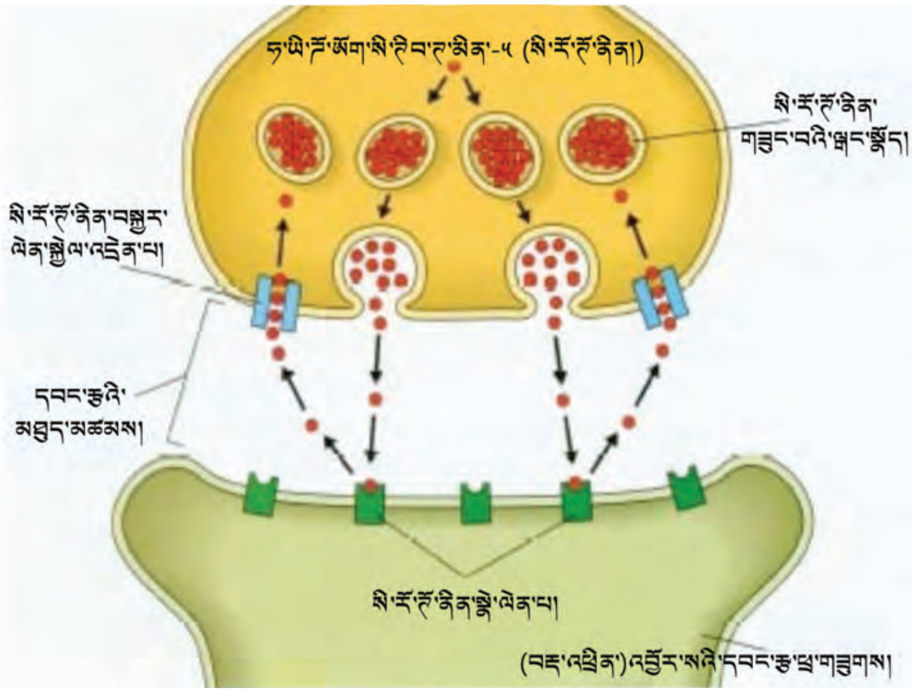
SOMATOSENSORY AND MOTOR SYSTEMS

So, how do a bunch of neurons, muscles and the many synapses among them result in movements and behaviors like those you exhibit walking in

བརྡ་འཕྲིན་སྐྱངས་འཛིན་བྱེད་ཚུལ།

དབང་རྩ་འཕྲིན་གཏོང་བྱ་བའི་སྣ་མང་རང་བཞིན་གསལ་སྟོན་བྱེད་པའི་དཔེ་མཚོན་མཐའ་མ་གང་ཞིག་ང་ཚོས་འདིར་བསམ་གཞིག་གི་ཡུལ་དུ་འཇེར་རྒྱུ་དེ་ནི་དབང་རྩའི་བརྡ་འཕྲིན་རྣམས་ཇི་ལྟར་སྐྱངས་འཛིན་བྱེད་ཚུལ་དང་འབྲེལ་བ་ཡོད། དེ་ཡང་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་ལ་རང་ཆས་སུ་ཡོད་པའི་སྐྱངས་འཛིན་བྱེད་ཚུལ་གྱི་རིགས་གཅིག་ཕུ་དེའི་སྐོར་ང་ཚོས་གོང་དུ་གླེང་ཟིན་ལ། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་རང་རང་གི་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པའི་ཚོད་ལ་སླེབས་པའི་དུས་ཁོ་ནར་དེ་དག་གིས་(ལས་འཇུག་ནུས་པ་)འཕེན་གྱི་ཡོད་པ་དེ་འདིར་དྲན་དགོས། དེས་ན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རེ་རེ་ནས་རང་གི་ངར་སློང་དང་འགོག་སྡོམ་རང་བཞིན་གྱི་བརྡ་འཕྲིན་དུ་མ་བསྡུས་པ་ལས་མ་མཐར་ཐེམ་མཚམས་ནུས་པའི་ཚོད་ལ་སླེབས་པ་ཁོ་ནར་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་དང་དེས་(ལས་འཇུག་ནུས་པ་)འཕེན་གྱི་ཡོད།

མཐུད་མཚམས་སྔོན་འགྲོའི་སྣེ་འདུམ་བྱ་གཞག་སོ་སོའི་ཤུགས་རྐྱེན་འཕོག་སའི་ཕྲ་ཕུང་གི་སྟེང་དུ་ཕོག་པའི་ཤུགས་རྐྱེན་དེར་ཚོད་འཛིན་བྱ་ཆེད་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་སོ་སོར་སྐྱངས་འཛིན་བྱ་བའི་རིགས་གཞན་གཉིས་འགྲུབ་ཀྱི་ཡོད། དེ་ལས་གཅིག་ནི་"བསྐྱར་ལེན་"ཟེར་བ་སྟེ། དེ་ནི་ཕལ་ཆེར་མཐུད་མཚམས་ཀུན་ཏུ་འགྲུབ་པའི་སྐྱངས་འཛིན་བྱ་བ་ཏ་ཅང་མངོན་མཚན་ཅན་དེ་ཡིན་(དཔེ་རིས། ༢༢)། མཐུད་མཚམས་སྔོན་འགྲོའི་དབང་རྩ་ཕྲ་ཕུང་གི་སྐྱི་པགས་སྟེང་དུ་ཆགས་ཤིང་མིང་ལ་སྐྱེལ་འདྲེན་པར་འབོད་པའི་སྤྲི་རྫས་དག་གིས་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་རྣམས་མཐུད་མཚམས་སྔོན་འགྲོའི་ཕྲ་ཕུང་གི་ཁོག་ནང་དུ་ཕྱིར་རྫོང་བར་བྱེད་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་དེ་དག་གིས་མཐུད་མཚམས་རྗེས་འགྲོའི་ཕྲ་ཕུང་(ཤ་གནད་དམ། ཡང་ན། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཞན་དག་)རྣམས་སད་སློང་བྱེད་མི་ཐུབ་པར་འགྱུར་བ་རེད། དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་འདི་རྣམས་ལྷང་སྟོད་དག་གི་ནང་དུ་བསྐྱར་སློག་བྱས་རྗེས་དབང་རྩའི་འཕྲིན་གཏོང་བྱེད་རིམ་ལྷག་མ་རྣམས་སུ་བཀོལ་སྤྱོད་བྱེད་པ་རེད།



དཔེ་རིས། ༢༢ བསྐྱར་ལེན་བྱ་བའི་སྐྱེལ་འདྲེན་པ་རྣམས་ཀྱིས་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་རྣམས་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་ནས་མཐུད་མཚམས་སྔོན་འགྲོའི་ཕྲ་ཕུང་ལ་ཕྱིར་འདྲེན་བྱེད་བཞིན་པའི་རྣམ་པ།

སྐྱངས་འཛིན་བྱ་བའི་རིགས་གཉིས་པ་ནི་"རྒྱུད་འགྱུར་"དུ་འབོད་པ་དེ་ཡིན། བྱ་བ་འདི་ནི་སྨིན་རྫས་ངེས་བཟུང་ཞིག་གིས་མཐུད་མཚམས་ཀྱི་གས་སྟབས་སམ་སྟོང་ཆ་དེར་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་འཇུ་སྲུད་བྱེད་པའི་གནས་སྐབས་དེར་འགྲུབ་པ་དང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་དེས་དེ་ནས་བཟུང་སྟེ་མཐུད་མཚམས་རྗེས་འགྲོའི་ཕྲ་ཕུང་དེ་དུས་ནམ་ཡང་སད་སློང་མི་ཐུབ་པར་འགྱུར་བ་རེད། འདི་ནི་དཔེར་ན། དབང་རྩ་དང་ཤ་གནད་སྦྲེལ་མཚམས་དེར་བརྡ་འཕྲིན་འགོག་པའི་ཆེད་དུ་ཨེ་སི་ཊེ་ལ་ཁོ་ལི་ནེ་སི་ཊེ་རེ་སི་རྨེན་རྫས་ཀྱིས་ཨེ་སི་ཊེ་ལ་ཁོ་ལིན་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་ཉམས་སྨད་གཏོང་བ་ལྟ་བུ་ཡིན། བསྐྱར་ལེན་དང་རྒྱུད་འགྱུར་བྱ་བ་གཉིས་མ་གྲུབ་ན་ཅི་ཞིག་ཏུ་འགྱུར་མིན་ཐད་ཁྱོད་ཀྱིས་ཚོད་རྩིས་རྒྱག་ཐུབ་བམ། སྐྱངས་འཛིན་གྱི་བྱ་བ་འདི་རིགས་ནི་ཏ་ཅང་གལ་ཆེ་སྟེ། གཞན་དུ་ན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་བརྡ་འཕྲིན་རྣམས་མཚམས་ཆད་པ་མེད་པར་གློད་འདོན་བྱེད་པར་འགྱུར་ངེས་རེད།

ལུས་ཚོར་མ་ལག་དང་འགུལ་སྐྱོད་མ་ལག

དེས་ན། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དང་། ཤ་གནད་དང་། དེ་དག་ཁྲིད་ཀྱི་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་དུ་མ་བཅས་འདུས་པའི་ཚུན་པོ་ཞིག་གིས་ཁྱོད་ཉིད་ནགས་གླང་ཁྲིད་གོམ་ཁ་གཏོད་བཞིན་དུ་ཕྱི་རོལ་ཏུ་མངོན་པའི་འགུལ་སྐྱོད་དང་གཡེས་སྤྱོད་དེ་དག་ཇི་ལྟར་སློང་ངམ་ཞེ་ན། འདི་ནི་དབང་རྩ་ཚན་རིག་པ་དག་གིས་ད་ལྟའི་དུས་འདིར་གང་མཚམས་ཤིག་ཤེས་ཀྱང་དཔྱིས་ཕྱིན་པར་ལན་འདེབས་བྱེད་མི་ཐུབ་པའི་དྲི་བ་ལྷི་མོ་ཞིག་ཡིན། འདིར་ང་ཚོའི་ཁོར་ཡུག་སྐོར་གྱི་

the woods? This is a huge question neuroscientists don't entirely understand the answer to, but we do know a lot about it. We know that we have to integrate information about our environment (somatosensory information) with the planning and execution of movements. As thought through by James Knierim of Neuroscience Online (http://neuroscience.uth.tmc.edu), a good interaction of sensory and movement (motor) systems should:

- generate movements that allow us to accomplish our goals.
- coordinate signals to many muscle groups and determine the necessary forces to produce smooth movement.
- know the starting position of the body in space, the length of muscles and the forces being applied to them.
- constantly produce postural adjustments in order to compensate for changes in the body's center of mass as we move our limbs, head, and torso.
- compare desired activity with actual activity, and use sensory feedback for corrections in movements as they take place, and allow modifications to motor programs so that future movements are performed more accurately.
- compensate and account for the physical characteristics of the body and muscles themselves.
- perform many procedures in an automatic fashion, without the need for high-order control.
- adapt to changing circumstances over the short term as well as over developmental time, aging, etc.

In fact, the Emory Tibet Science Initiative primers extensively discuss many of these characteristics, which our motor systems do have, and consider how, together with our nervous systems, they respond to our environment. In *LSP-II: Genes and Cells*, we discuss the simplest such collection of nerves, muscles, and synapses—known as reflexes (Box 6). These reactions—like when you draw your hand back from a scalding cup of chai or when you catch yourself after tripping over a root in the woods—are automatic and unconscious. They don't even involve the brain, only neurons that sense the stimulus, an intermediate neuron in the spinal cord, and the motor neuron that synapses on the muscle to stimulate its contraction. Such reflexes often involve a chain of only one, two or three synapses, although many receptors and motor neurons may act in parallel.

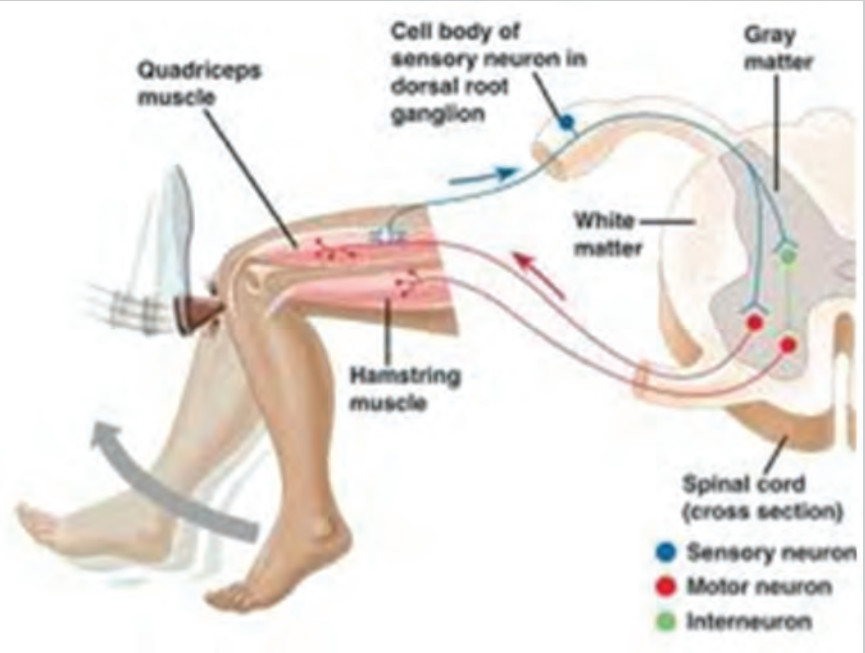
ཆ་འཕྲིན་(ལུས་ཚོར་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་)རྣམས་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བའི་སྒྲོར་དངོས་གཉིས་དང་ཚུལ་སྒྲིག་བྱེད་དགོས་པ་ང་ཚོས་ཤེས་ཀྱི་ཡོད། 'དྲ་ཐོག་གི་དབང་རྩ་ཚན་རིག་'ཅེས་པའི་དྲ་ཐག་ (http://neuroscience.uth.tmc.edu) དེའི་སློབ་ཁྲིད་པའི་གྲས་ཀྱི་སྐུ་ཞབས་ཧེམ་སི་ཀེ་ནེ་རིམ་གྱི་བསམས་བྱུང་གི་བཞེད་པ་བཞིན། དབང་ཚོར་མ་ལག་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་(གཡོ་འགྱུལ་)མ་ལག་དབར་སྦྲེལ་སྒྲོར་ལེགས་པོ་བྱུང་བའི་མཇུག་འབྲས་སུ་གང་ཞིག་འབྱུང་རིགས་སམ་ཞེ་ན།

- ང་ཚོས་རང་གི་དམིགས་དོན་འགྲུབ་པར་ཕན་པའི་འགྱུལ་སྐྱོད་ཀྱི་རིགས་སློང་ཐུབ།
- ཕ་གནད་ཀྱི་ཚོགས་མང་པོར་བརྫ་འཕྲིན་གཏོང་ལེན་བྱེད་ཐུབ་ཅིང་། ཆ་སྙོམ་པའི་འགྱུལ་སྐྱོད་རིགས་བསྐྱེད་པར་རན་ཞིང་འཚམ་པའི་ནུས་ཤུགས་ཀྱི་མཚམས་འཛིན་བྱེད་ཐུབ།
- ཡུལ་གྱི་གོ་སར་འཁོད་པའི་དངོས་གཟུགས་དག་གི་ཐོག་མའི་གནས་བབ་གང་ཡིན་ཤེས་པ་དང་། དེ་དག་ལ་ཐོག་པའི་ཤུགས་དང་ཕ་གནད་ཀྱི་རིང་ཐུང་བཅས་པ་ཤེས་ཐུབ།
- ང་ཚོས་རང་གི་ཡན་ལག་དང་། མགོ་དང་། ལུས་ཁོག་བཅས་པ་བསྐྱལ་བའི་ཚེ་ལུས་ཀྱི་གདོས་ཆད་ཀྱི་ལྗི་དབུས་ལ་ཐོག་པའི་འགྱུར་བ་རྣམས་ལ་ཀུན་གསལ་ཆེད་ལུས་ཀྱི་འདུག་ལུགས་ལ་དུས་གཏན་དུ་བབ་བསྟུན་འཐོ་འགྱུར་རིགས་གཏོང་ཐུབ།
- རེ་སྔོན་གྱི་བྱ་གཞག་དང་དངོས་བྱུང་གི་བྱ་གཞག་གཉིས་དབར་ཕན་ཚུན་མཚུངས་སྡུར་བྱེད་ཐུབ་ཅིང་། འགྱུལ་སྐྱོད་ཀྱི་བྱ་གཞག་འགྲུབ་བཞིན་དུ་དེ་དག་ལ་ལེགས་བཅོས་གཏོང་བའི་དགེ་མཚན་དུ་དབང་ཚོར་གྱི་ཚོར་སློང་རིགས་སྤྲོད་སྒྲོར་བསྟེན་པ་དང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་འགྱུལ་སྐྱོད་གནས་བབ་ལ་གང་འགབ་ལེགས་བཅོས་བཏང་སྟེ་ད་གཟོད་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་གཞག་རྣམས་ལུགས་མཐུན་དུ་འགྲུབ་པར་སྐུལ་འདེད་བྱེད་ཐུབ།
- ལུས་པོའི་ཕྱིའི་ཁྱད་ཆོས་དང་ཕ་གནད་བཅས་པར་གནས་འབྲེལ་དང་ཀུན་གསལ་བྱེད་ཐུབ།
- མཐོ་རིམ་གྱི་ཚོད་འཛིན་བྱ་བ་ལ་མ་བརྟེན་པར་ཡང་རང་འགྱུལ་གྱིས་བྱེད་རིམ་མང་པོ་སྦྲེལ་ཐུབ།
- དུས་ཡུན་ཐུང་དུ་དང་། ཡང་། ཁ་བ་ལ་སོགས་པ་འཚར་འཕེལ་བྱེད་རིམ་གྱི་དུས་ཡུན་རིང་པོར་བྱུང་བའི་འགྱུར་བཞིན་པའི་གནས་སྟངས་དག་ལ་བསྟུན་འགྱུར་བྱེད་ཐུབ་པ་བཅས་ཡིན།

དངོས་འབྲེལ་དུ་ཡང་ཨེ་མོ་རི་དང་བོད་ཀྱི་ཚན་རིག་ལས་རིམ་གྱི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་ཁག་ནང་ཁྱད་གཤིས་འདི་དག་སྐོར་རྒྱས་པར་གྲོས་སྡུར་བྱས་ཡོད། འདི་དག་ནི་ང་ཚོའི་འགྱུལ་སྐྱོད་མ་ལག་ལ་ལྡན་པའི་ཁྱད་གཤིས་ཡིན་ཞིང་། དབང་རྩ་མ་ལག་དང་ལྷན་དུ་མ་ལག་འདི་དག་གིས་ཁོར་ཡུག་ལ་ཡ་ལན་སྤྲོད་ཚུལ་ཐད་ང་ཚོས་བསམ་གཞིག་བྱེད་འོས། 'རིགས་རྫས་དང་ཐྲ་ཕྲུང་'མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པའི་ནང་ང་ཚོས་དབང་རྩ་དང་། ཕ་གནད། དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་བཅས་ཀྱི་ཚོགས་འདུས་ཆེས་སླ་བསྡུས་ཏེ། མིང་ལ་ལྫོག་འགྱུལ་དུ་འབོད་པ་དེའི་སྐོར་གླེང་ཡོད།(སྒྲོམ་བུ་དྲུག་པར་ལྟོས།) ཚུར་སྣང་སྦྱིན་པའི་གཤིས་སྤྱོད་འདི་དག་སྟེ། དཔེར་ན། ཚ་ཞིང་སྲེག་པའི་རྫའི་ཐོར་པ་ཞིག་ནས་ཁྱོད་ཀྱི་ལག་པ་ཕྱིར་འཐེན་པ་དང་། ཡང་ན། ནགས་ཀླུང་ཁྲོད་དུ་ཀང་པ་ཤིང་རྩར་འཁྲིལ་གྲབས་བྱེད་སྐབས་རང་སྟུང་བྱས་པ་ལྟ་བུ་དག་ནི་སྣང་མེད་ཚོར་མེད་དང་རང་དབང་འགྲུབ་པའི་གཤིས་སྤྱོད་ཀྱི་རིགས་ཡིན། འདི་དག་གི་ནང་ཀླད་པའི་ཐེ་གཏོགས་ཀྱི་མིང་ཙམ་ཡང་མེད་པར། སྐུལ་རྐྱེན་གྱི་རྣམ་པ་དེ་འདྲ་ཚོར་བའི་དབང་རྩ་དག་དང་། རྒྱུངས་པའི་ནང་གི་བར་ཞུགས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཤིག་དང་། བསྡུ་སྐྱུང་བྱ་བ་བསྐྱལ་ཆེད་འབྲེལ་ཡོད་ཕ་གནད་དག་ལ་མཐུད་སྦྲེལ་བྱེད་པའི་འགྱུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཙམ་ཞིག་དང་འབྲེལ་བ་ཡོད། འདི་འདྲའི་ལྫོག་འགྱུལ་ཐལ་མོ་ཆེར་དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས་གཅིག་གམ། གཉིས། ཡང་ན་གསུམ་ལས་གྲུབ་པའི་ཕྲེང་བ་ཙམ་ཞིག་དང་འབྲེལ་བ་རེད། དེ་ལྟ་ནའང་བྱེད་རིམ་དེ་དག་དང་དུས་མཉམ་དུ་སྣེ་ལེན་པ་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་དུ་མ་ཞིག་ཐད་གཤིབ་དང་རང་རང་གི་ལས་ལ་འཇུག་པའང་སྲིད།

Box 6. IN-DEPTH: REFLEX IN ACTION

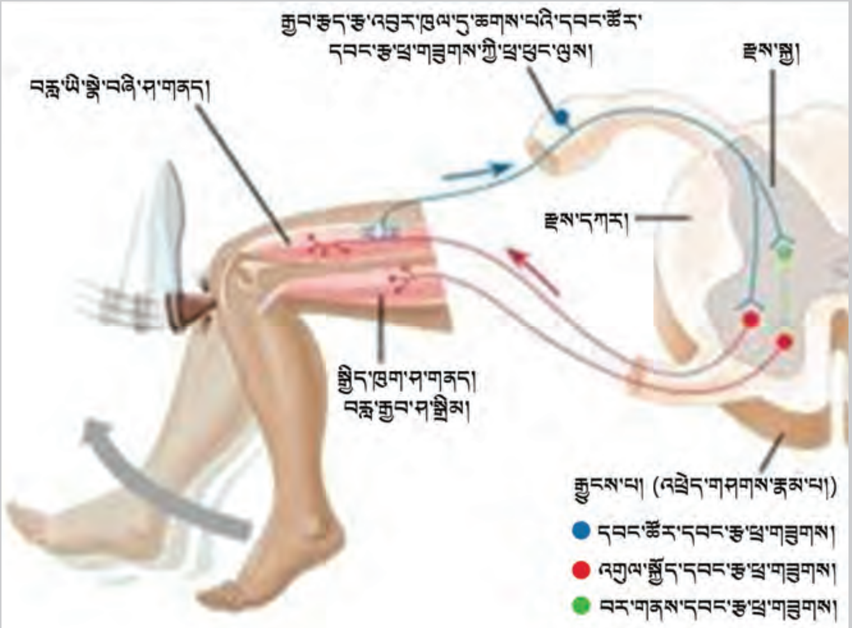
Here is a short exercise you can do to get a sense of how reflexes work. Have a friend sit with his or her legs dangling over the edge of a table. With the side of your hand firmly strike your friend's leg just below the kneecap. When you hit the right place, the lower leg will kick out immediately exhibiting the knee-jerk reflex. Try it again with one hand on your friend's quadriceps muscle, the muscle on the front of the thigh. When the knee jerks, you will feel the quadriceps contract.



This knee-jerk reaction happens in less than 50 milliseconds and involves just two neurons. One neuron reaches from the kneecap to the spinal cord, and the second reaches back to the muscle, as shown at the right. How might this reflex be useful?

In order to move, to stroll through the woods, to pick up a crying little boy, we need to know both where things are in our environment, and where our bodies are in relation to those things. This sense is called proprioception. The receptors that give us information about our environment are known as somatosensory receptors; 'somato' refers to our bodies and 'sensory' to sensing the environment. As we have seen, generally speaking, all sensing is similar, although each type of sensing has its own particular type of receptor (see Figure 19 above). As we've discussed, any sensory event begins with a receptor on afferent neurons. Once stimulated, membrane ion channels open to cause an action potential. In *LSP-II: Genes and Cells*, we look extensively at some of these: vision receptors, touch, pain, and temperature receptors. Vision receptors are an example of receptors that give us information about the external world; the touch, pain, and temperature receptors in our skin are also examples of such receptors. Here, in terms of movement, we will discuss 2 additional somatosensors that sense the forces and motions of our bodies: (1) proprioceptors in muscle that tell us about the force, length, and velocity of muscle contraction and (2) vestibular sensors in the inner ear that tell us about the angle of our head and how fast it is moving.

སྒྲོམ་བུ་དྲུག་པ། གཉིང་ཚུགས་པའི་ལྷ་ཞིབ། ཐོག་འགྲུལ་གྱི་ལས་ཚུལ།



འདི་ར་ནི་ཐོག་འགྲུལ་གྱི་རིགས་རྣམས་ཇི་ལྟར་ལས་ལ་འཇུག་ཚུལ་ར་སྟོད་བྱེད་པའི་ལས་སྒྲིང་ཐུང་དུ་ཁྱོད་ཀྱིས་བསྒྲུབ་ཐུས་པ་ཞིག་གསལ་ཡོད། ཐོག་མར་ཁྱོད་ཀྱི་གྲོགས་པོ་ཞིག་ལ་ལྷོག་རྩེའི་སྟེང་སྡོད་དུ་བཙུག་ལ། ལྷོག་རྩེའི་ཟུར་སྣེ་ནས་ཁོང་གི་རྐང་པ་འཕྱང་ངེ་བར་ལྷོད་དུ་ཆུགས། དེ་ནས་ཁོའི་པུས་མོའི་ལྷ་ངའི་འོག་ཙམ་དེར་ཁྱོད་ཀྱི་ལག་པའི་ཟུར་གྱིས་བརྟན་པོར་ལན་གཅིག་གཞུས་ལ། གལ་ཏེ་ཁྱོད་ཀྱིས་ས་ཚིགས་མ་འཛུག་པར་གཞུས་ཚེ་ཁོའི་རྐང་པའི་ཆ་འོག་མ་དེ་མདུན་ཕྱོགས་སུ་གློ་བུར་དུ་འཕར་འོང་། དེ་ནི་པུས་མོའི་ཧད་སྦྲུད་ཐོག་འགྲུལ་གྱི་རྣམ་པ་ཕྱི་ལ་མངོན་པ་རེད། བསྐྱར་ནས་ལན་གཅིག་གཞུས་ལ། དེ་ལྟར་གཞུ་བཞིན་དུ་ཁྱོད་ཀྱི་གྲོགས་པོའི་བརླ་ཡི་སྔ་བཞི་ཤ་གནད་དེ། བརླའི་མདུན་ངོས་ཀྱི་ཤ་གནད་དེའི་སྟེང་དུ་རང་གི་ལག་པ་གཅིག་འཇོག་ལ་ལྟོས། ཁོའི་པུས་མོ་ཧད་སྦྲུད་རྒྱག་སྐབས་ཁོའི་བརླ་ཡི་སྔ་བཞི་ཤ་གནད་འཁུམ་བསྡུ་བྱེད་པ་ཁྱོད་ཀྱིས་ཚོར་ཐུབ།

འདི་ལྟའི་པུས་མོའི་ཧད་སྦྲུད་ཡ་ལན་རྣམ་པ་དེ་སྐར་ཆ་གཅིག་ཆ་སྟོང་ལ་བགོས་པའི་ཆ་ལྔ་བཅུའི་ནང་ཚུན་དུ་འགྲུབ་ཅིང་། དེར་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཉིས་ཙམ་འབྲེལ་བ་རེད། གཡས་ཀྱི་དཔེ་རིས་ནང་གསལ་བ་བཞིན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གཅིག་ནི་པུས་མོའི་ལྷ་ང་ནས་རྒྱུངས་པའི་བར་སྣོབ་ལ། གཞན་དེ་ཤ་གནད་དེར་ཕྱིར་སྣོབ་པ་རེད། ཁྱོད་ལྟར་ན་ཐོག་འགྲུལ་འདིར་དགེ་མཚན་གང་མཆིས་སྙམ་མམ།

སྤྱིར་བཏང་འགྲུལ་བཞུད་བྱེད་པ་དང་། ནགས་སུ་འཚམ་འཚམ་ལ་སྐྱོད་པ་དང་། ཡང་ན་དུད་མོ་བྱེད་པའི་བྲུ་གུ་ཡར་བང་པ་ལྟ་བུའི་བྱ་གཞག་ལ་ཞུགས་པ་ན་ང་ཚོས་ཁོར་ཡུག་ཁྲོན་དུ་ཅ་དངོས་རྣམས་གང་དུ་འཁོད་མིན་དང་། ཅ་དངོས་དེ་དག་ལ་ལྟོས་ཏེ་ངོ་བདག་རང་ཉིད་ཀྱི་ལུས་པོ་གང་དུ་འཁོད་མིན་བཅས་ལ་རྒྱུས་ལོན་བྱེད་དགོས། འདི་ལྟའི་ཤེས་ཚོར་བྱ་བ་ལ་བབས་འགྱུར་ཤེས་ཚོར་ཟེར་བ་དང་། ཡང་ང་ཚོའི་ཁོར་ཡུག་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་མགོ་འདོན་བྱེད་པའི་སྣེ་ལེན་པ་དག་ལ་ལུས་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་ཟེར་ཞིང་། འདིའི་མིང་གི་ཆ་ཤས་ཀྱི་'somato' ཞེས་པ་ང་ཚོའི་ལུས་ལ་གོ་བ་དང་། 'sensing' ཞེས་པ་ཁོར་ཡུག་ལ་བརྟེན་པའི་ཤེས་ཚོར་སྐྱེ་བ་ལ་གོ་བ་རེད། ང་ཚོས་ཤེས་པ་བཞིན། སྤྱིའི་ཆ་ནས་ཤེས་ཚོར་ཀུན་འདྲ་མཚུངས་སུ་ཡོད་ནའང་། ཤེས་ཚོར་གྱི་རིགས་སོ་སོར་རང་རང་གི་སྣེ་ལེན་པའི་རིགས་ངེས་བཟུང་རེ་ཡོད་(གོང་གི་དཔེ་རིས། ༡༩ ལ་ལྟོས་)པ་འདི་སེམས་ལ་ངེས་པར་འཇོག་དགོས། ང་ཚོས་གོང་དུ་གྲོས་སྡུར་བྱས་པ་བཞིན། དབང་ཚོར་དང་འབྲེལ་བའི་བྱུང་བ་ཅི་འདྲ་ཞིག་ཡིན་རུང་དེ་ཉིད་ནང་འདྲེན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་སྟེང་གི་སྣེ་ལེན་པ་ཞིག་ནས་འགོ་ཙམ་པ་རེད། སྣེ་ལེན་པ་དེ་འདྲ་ཞིག་ཡར་སློང་བྱས་པ་ན་སྐྱི་ལྤགས་ཀྱིས་རྡུལ་རྒྱུ་ལམ་དགག་ཁ་ཕྱེ་སྟེ་ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞིག་བསྐྱེད་ཀྱི་ཡོད། 'རིགས་རྫས་དང་ཕྲ་ཕུང་'མིང་བྱང་ཅན་གྱི་ཆེ་སྒྲོག་ཚན་རིག་གི་སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གཉིས་པའི་ནང་འདིའི་རིགས་འགའ་ཞིག་ལ་ང་ཚོས་སྒྲོས་བཤད་བྱས་ཡོད། དེ་དག་ནི་དཔེར་ན། མཐོང་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་དང་། རེག་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ། ཟུག་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ། དྲོད་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་བཅས་ཡིན། དེ་ཡང་མཐོང་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་དག་ནི་ང་ཚོར་ཕྱིའི་འཇིག་རྟེན་སྐོར་གྱི་ཆ་འཕྲིན་མགོ་འདོན་བྱེད་པའི་སྣེ་ལེན་པའི་དཔེ་མཚོན་ཞིག་ཡིན་ལ། དེ་བཞིན་དུ། ང་ཚོའི་པགས་པའི་ནང་གི་རེག་ཚོར་དང་། ཟུག་རྡུ། དྲོད་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་རྣམས་ཀྱང་དེ་ལྟའི་སྣེ་ལེན་པའི་དཔེ་མཚོན་ཡིན། འགུལ་སྐྱོད་དང་འབྲེལ་བའི་གནས་དོན་ཐད། འདིར་ང་ཚོས་ལུས་ཕུང་གི་ཤུགས་དང་གཡོ་འགུལ་ཚོར་ཞིང་ཤེས་པའི་ལུས་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་འཕར་མ་གཉིས་ཀྱི་སྐོར་གྲོས་སྡུར་བྱའོ།། དེ་དག་ནི། ༡༽ ཤ་གནད་ནང་གི་བབས་འགྱུར་སྣེ་ལེན་པ་དག་སྟེ། ཤ་གནད་ཁྲུམ་བསྡུའི་ཤུགས་དང་། དུས་ཡུན། མགྱོགས་ཚད་བཅས་ཀྱི་སྐོར་ང་ཚོར་གནས་ཚུལ་གཏོང་བའི་སྣེ་ལེན་པ་དག་དང་། ༢༽ ནང་རྣའི་ནང་གི་སྦུག་ལྷན་སྣེ་ལེན་པ་དག་སྟེ། གང་དག་གིས་རང་གི་མགོ་བོའི་ཁ་ཕྱོགས་ཀྱི་ཟུར་ཁུག་སྐོར་དང་། རང་གི་མགོ་བོ་མགྱོགས་ཐུལ་གྱི་ཚོད་གང་ལ་འགུལ་སྐྱོད་བྱེད་བཞིན་པའི་སྐོར་ང་ཚོར་གནས་ཚུལ་གཏོང་བ་བཅས་ཡིན།

Our muscles have two kinds of proprioceptors: (1) muscle spindles inside muscles sense stretching (Box 3) and (2) Golgi tendon organs, at the junction of muscles and tendons, sense the force generated when our muscles contract (Figure 23). Muscle spindles have a sensory neuron wrapped around them; they are like strings lying in parallel to muscle. When muscles stretch, the spindle also stretches, causing action potentials to fire. The spindle neuron synapses directly onto the motoneuron of the muscle, as well as onto other neurons in the spinal cord and brain. Interestingly, the muscle spindle also synapses onto inhibitory neurons that suppress the firing of motor neurons and therefore block the contraction of muscles that perform the opposite function. This inhibition is useful in suppressing the simultaneous firing of motor neurons that lead to flexion and extension movements of the same joint, say the elbow, which allows the joint to either flex or extend.

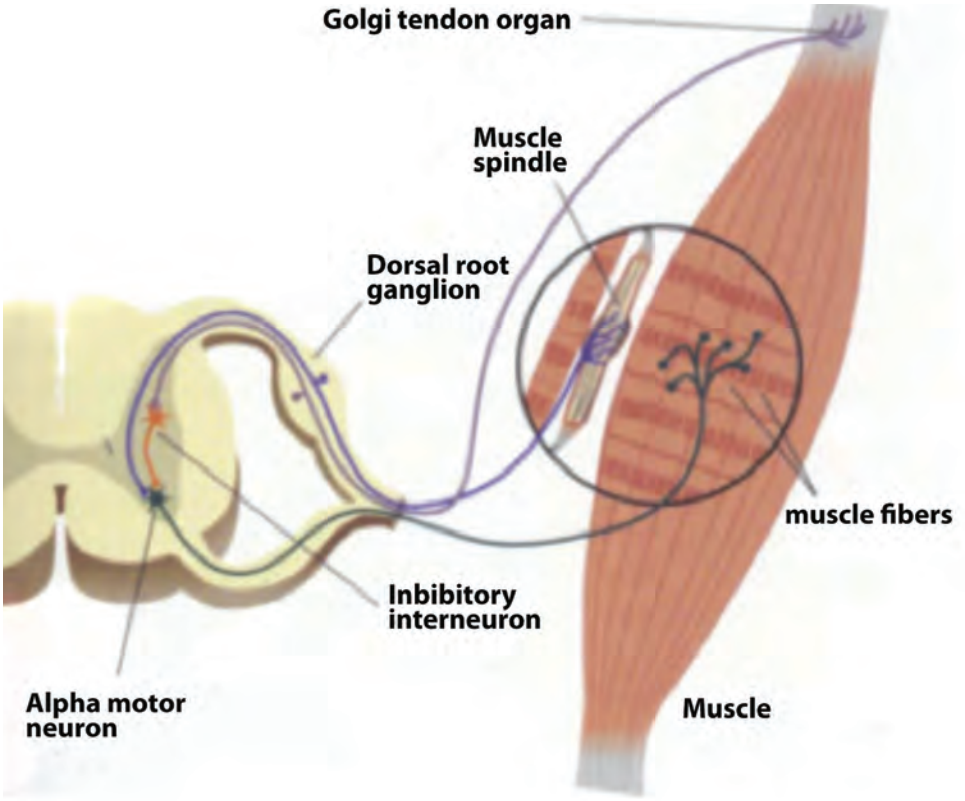


Figure 23: Golgi tendon organs are proprioceptors that relay information about the force of muscle contraction.

Sensors in our heads help us keep track of where our heads are. These vestibular organs (Figure 24) are made up of vestibular canals and otoliths (utricle and saccule) filled with fluid. When your head moves down with the rest of your body to pick up the boy, fluid shifts in your vestibular organs, which leads to bending of hairs in receptors that open sodium ion channels. Therefore these mechanical receptors activated by the flow of fluid in our inner ear also lead to the firing of action potentials (Figure 25). See Box 4 for the description of a reflex that helps us keep our balance.

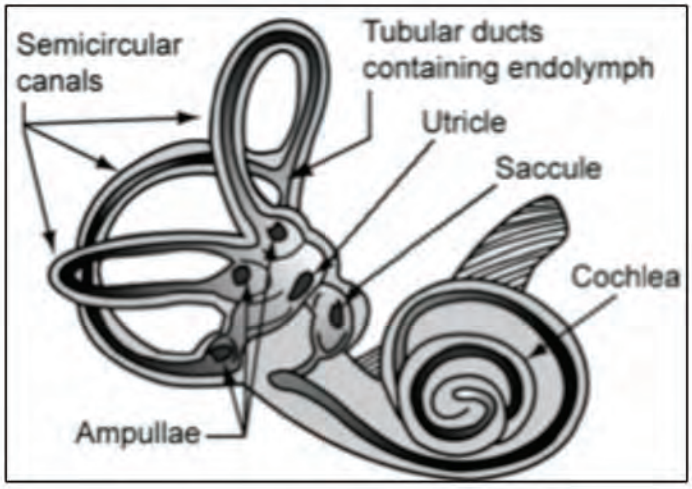
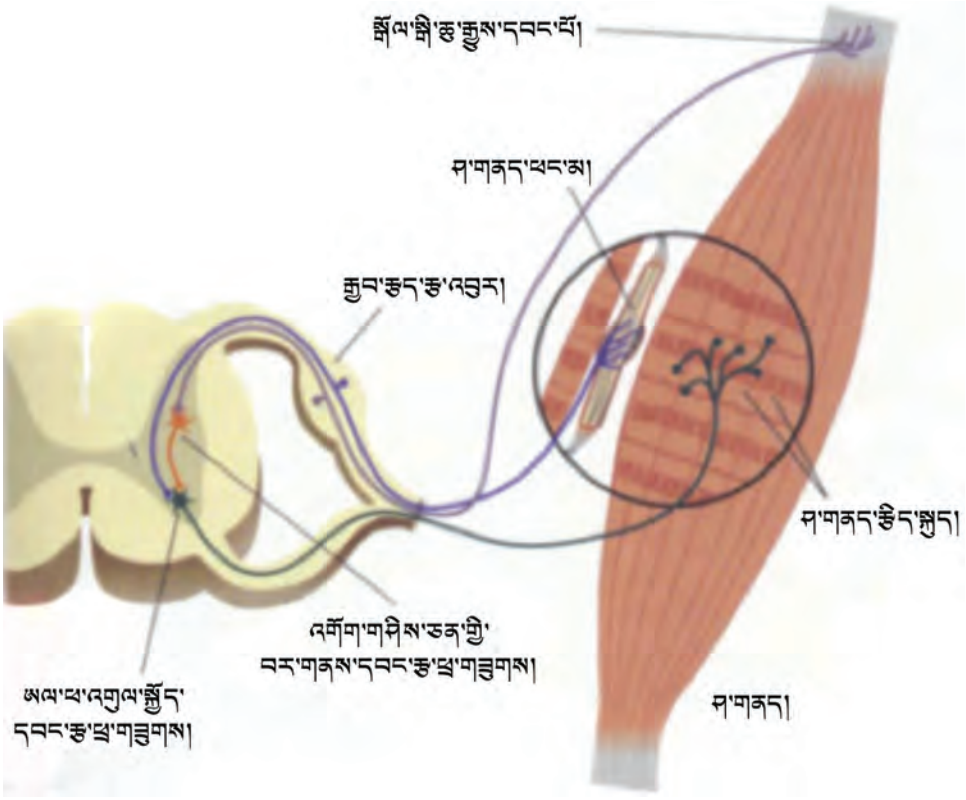
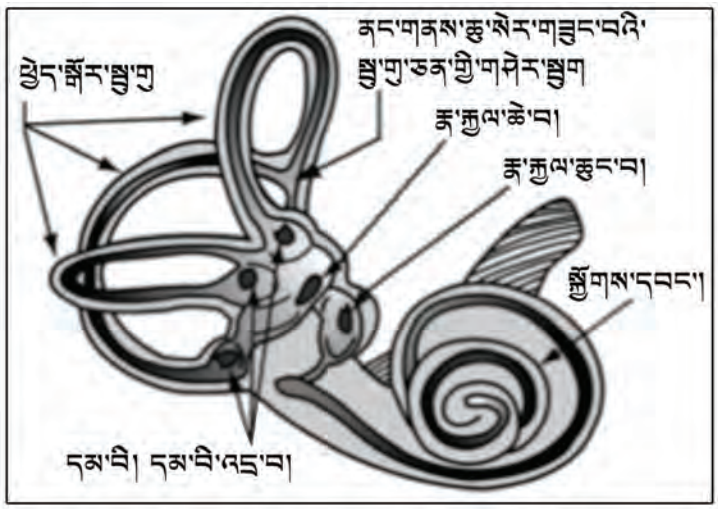


Figure 24: The vestibular system helps with balance



དཔེ་རིས། ༢༣ སྣོལ་སྐྱེ་ཚ་རྒྱུས་དབང་པོ་རྣམས་ནི་ཤ་གཅད་འགྲམ་སྡུད་ཀྱི་ཤུགས་ཚད་སྐོར་ཀྱི་ཆ་འཕེན་ཐྲོད་འདོན་ཟེར་བའི་བབས་འགྱུར་སྟེ་ལེན་པ་དེ་འཛུ་རེད།



དཔེ་རིས། ༢୧ སྤུག་ལྤན་མ་ལག་གིས་ང་ཚོའི་ལུས་ཤུང་གི་དོ་མཉམ་སྡུང་འཇིན་ལ་རམ་འདེགས་རྒྱ།

ང་ཚོའི་ཤ་སྟེམ་དག་ལ་བབས་འགྱུར་སྟེ་ལེན་པའི་རིགས་གཉིས་ཡོད་པ་ནི། ༡ཀ ཤ་སྟེམ་ནང་གི་རྐྱོར་ཤེད་ཚོར་བའི་ཤ་གནད་པང་ཁ་ཙམ། (སྟོམ་བུ་གསུམ་པ།) ༢ཀ ཤ་སྟེམ་དང་ཆུ་རྒྱུས་སྟེལ་བའི་མཚམས་སུ་འགོད་ཅིང་། ཤ་སྟེམ་འགྲམ་སྡུད་ཀྱི་ཤེད་ཚོར་ཚོ་ཚོར་བའི་སྐོལ་སྟེ་ཆུ་རྒྱུས་དབང་པོ་བཅས་གཉིས་ཡིན།(དཔེ་རིས། ༢༣) ཤ་གནད་འཕང་མ་དག་ནི་མཐའ་སྐོར་དུ་དབང་ཚོར་དབང་རྩལ་གཡོགས་ནས་ཡོད་པ་དང་། ཤ་སྟེམ་དང་འཐད་གཤེབ་དུ་རྒྱག་ཅིང་བཙོ་དགེའས་སྐུད་པ་འཇ་ན་ཞིག་ཡོད། ནས་ཞིག་ཤ་གནད་རྩལས་ནང་རྐྱོང་ན་ན་བང་མ་རྩལས་ཀྱང་དུས་མཉམ་དུ་ཉར་རྐྱོང་བྱེད་པ། དེ་ལ་བཟེན་ནས་ཁས་འཇུག་ཀུས་པ་རྩལས་འཕེན་པ་རེད། བང་མ་དབང་ཙ་ཐྱ་གཟུགས་རྩལས་ཀྱིས་ཤ་གནད་ཀྱི་འགྱལ་སྐྱོང་དབང་ཙ་ཐྱ་གཟུགས་དག་དང་ཞད་ཀར་མཐུད་མཚམས་སྟེལ་ལ། དེ་བཞིན་དུ་རེ་རྩལས་ཀྱིས་རྒྱངས་པ་དང་གླད་པ་ཁུལ་གྱི་དབང་ཙ་ཐྱ་གཟུགས་གཞན་དག་ལའང་ཞད་ཀར་མཐུད་མཚམས་སྟེལ་བར་བྱེད། དོ་མཚར་བ་ཞིག་ལ། འགོག་གཤེས་ཅན་ཀྱི་དབང་ཙ་ཐྱ་གཟུགས་ཏེ། གང་དག་གིས་འགྱལ་སྐྱོང་དབང་ཙ་ཐྱ་གཟུགས་རྩལས་ཀྱི་(ལས་འཇུག་ཀུས་པ་)འཕེན་པའི་ནུས་པར་མགོ་གཅོད་ཅིང་། དེ་ལ་བཟེན་ནས་ལྟོག་ཆའི་བྱ་སྟྲོད་སྟེལ་བའི་ཤ་གནད་དག་གི་འགྲམ་སྡུད་བྱ་བ་འགོག་པར་བྱེད་པ་དག་ལའང་ཤ་གནད་ཞང་མ་སྟེམ་ཤུགས་ཆ་ཚོད་ཟིན་པ་ཞིག་ཡོད། དེ་ལྟའི་འགོག་སྟོམ་བྱ་ན་ནི་དེས་ན་ལག་པའི་བྱ་ཚིགས་ཆྱོང་སྐྱལ་ལ་ཁག་ཐེག་བྱེད་པའི་བྱ་མོ་ལྟ་བྱ་ལུས་ཀྱི་རུས་ཚིགས་གཅིག་རང་ཞེག་གི་ཆྱོང་སྐྱལ་གཞིས་ཀ་སྟྲོང་བའི་འགྱལ་སྐྱོང་དབང་ཙ་ཐྱ་གཟུགས་རྩལས་ཀྱིས་དུས་འཚེན་ནས་ཀྱི་ཁུ་འཛིན་པ་ཡིན།

ང་ཚོའི་མགོའི་ནང་གི་ཚོང་བྱེད་དག་གིས་ང་ཚོའི་མགོ་ཟོ་དེ་ཐྱོགས་སམ་ཡུལ་ཀྱི་གོ་ས་གང་ཞེག་ཁུ་ཡོད་ཆུས་ལོན་བྱེད་པས་ཁས་ལེན་པ་རེད། སྤུག་ལྤན་དབང་ཡོ་འདི་དག་ནི་སྤུག་ལྤན་ཡུར་བ་དང་གཤེར་ཀྱིས་ཁེངས་པའི་རྩ་རྡེའུ་(རྩ་ཆུལ་ཆེ་བ་དང་ཆུང་བ་)བཅས་ཀྱིས་བྱབ་པ་ཞིག་ཡིན། ནས་ཞིག་ཐྱོད་ཀྱིས་སྡང་ཀྱི་བྱེས་པ་དེ་བང་བས་བྱང་པའི་ཆེད་རང་གི་ལུས་ཐུང་བྱིངས་དང་མཉམ་དུ་མགོ་ཟོ་ཡང་ཐུབ་དགའ་པའི་ནང་ཁོངས་ཀྱི་སྤུག་ལྤན་དབང་ཡོ་འདི་དག་གི་རྩ་ཆུལ་གཤེར་ཀྱི་ཁུ་ཚུ་ཁ་ཙམ་ཞིག་ཁྱོད་བྱེད་པ། དེ་ལ་བཟེན་ནས་སྟེལ་ལེན་པའི་ནང་སྤུག་ལྤན་དབང་ཡོ་འདི་དག་གི་རྩ་ཆུལ་གཤེར་ཀྱི་ཁུ་ཚུ་ཁ་ཙམ་ཞིག་ཁྱོད་བྱེད་པ་ཡིན་ཟེར་ཁ་ཤས་ཀྱིས་ཁས་ལེན་པ་རེད། དེས་སྟེལ་ལེན་པ་དག་གི་བུལ་ཤོས་ཀྱི་ཁྱད་པར་ནི་ཤ་སྟེམ་ནང་གི་ཁུ་ཚུ་ཁ་ཙམ་ཞིག་ཁྱོད་བྱེད་པ་ཡིན་ཟེར་བ་ཡིན། དེས་ན་ང་ཚོའི་ནང་དུ་ཆུན་གཅིག་བཞུང་བའི་རྐྱེན་གྱིས་ཡར་སྐྱལ་ཐེབས་པའི་འགྱལ་སྐྱོང་སྟེལ་ལེན་པ་འདི་དག་གིས་ཀྱང་ལས་ཁུངས་འཇུག་ཀུས་པ་འཕེན་པའི་བརྒྱུད་རྒྱུ་བྱེད་པ་རེད།(དཔེ་རིས། ༢୫) ང་ཚོར་ལུས་ཀྱི་དོ་མཉམ་སྡུང་བར་རམ་འདེགས་བྱེད་པའི་སྐོལ་འགྱལ་སྐོར་ཀྱི་འཛེལ་བཤད་ཆེད་གོང་གསལ་སྐྱོས་བྱ་བའི་ཡོ་སྐྱ།

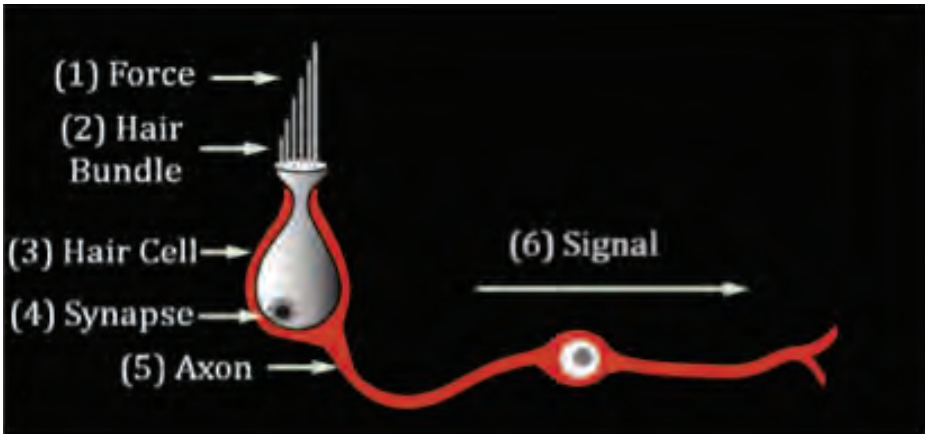


Figure 25: Head movements create forces in the inner ear that move hair bundles, which sit on top of vestibular hair cells. This deflection opens sodium channels, thus creating an action potential that then moves from the vestibular system to the central nervous system (CNS)

Box 7. IN-DEPTH: THE VESTIBULO-OCULAR REFLEX

This reflex allows the important coordination between head movement and vision. Measurements of this and other reflexes allow physicians to identify deficits in people's nervous systems. For example, in this series of pictures, a physician moves the patient's head 45 degrees to the side, and then quickly moves her head down so that the center of her head is lower than her inner ear. In this case, a vestibular pathology is indicated by involuntary and abnormal eye movements.

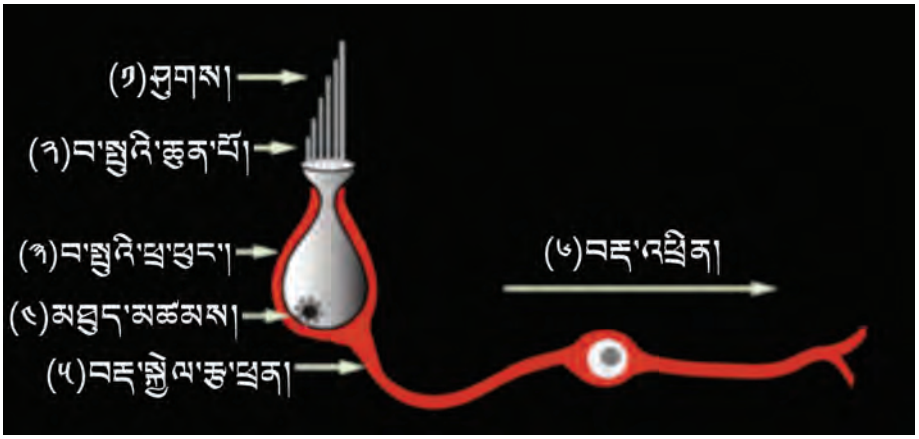
TO GAIN AN APPRECIATION FOR THE VESTIBULE-OCULAR REFLEX:

Hold a piece of paper with words on it in front of you.
Rotate your head from side to the side.
Can you read the paper?

Hold the paper in front of you and move the paper without moving your head.
Can you still read it? Why or why not? Do you or do you not receive sensory input from both your head and your hands? What are the possible pathways involved?

Ask a friend to stare straight ahead, either in a rotating chair, or standing up.
Spin the person around.
As the person is spinning, watch the motion of his or her eyes.
Is the person aware of the eye motion?
Why is it occurring? What sensory and motor pathways are involved? What might this reflex be useful for?

དབེ་རིས། ༢༥ མགོ་སོ་འགུལ་སྐྱོད་བཏང་བས་ནང་རྟའི་སྤུག་ཏུ་ཕུགས་ཤིག་བསྐྱེད་ལ། དེས་སྤུག་ལྟན་པ་སྤུའི་ཐུ་ཟུང་དག་གི་རྩེ་མོར་འགོད་པའི་པ་སྤུའི་ཆུན་སོ་རྣམས་བསྐུལ་བ་རེད། འགྲོག་ལྷེས་བྱ་བ་འདི་ས་བྱུང་རྒྱུ་འདྲུག་ཅེང་། དེས་བསྐྱེད་པའི་ཡས་འདྲུག་ཆུས་པ་དེ་ཉིད་མཐར་སྤུག་ལྟན་མ་ཡག་པ་རྣམས་དབང་རྩེ་ལྷེ་བའི་མ་ཡག་ལ་བགོད་པ་རེད།



སྐོམ་བྱ་བདུན་པ། གཉིད་ཆུགས་པའི་ལྟ་ཤེབ། མིག་དང་སྤུག་ལྟན་མ་ལག་སྤྱེལ་མའི་ཚོགས་འགྲུལ་བྱ་བ།

ལྟོག་འགུལ་བྱ་བ་འདེས་མིག་དང་མགོ་སོའི་འགུལ་སྐྱོད་དབང་གི་མཐུན་སྤྱིའི་ཚན་པའོ། ལྟོག་འགུལ་འདི་དང་དེ་མིན་གྱི་ལྟོག་འགུལ་གཞན་དག་གི་ཚད་གཞལ་བ་ལ་བཅེན་ནས་སྤྱན་པ་རྣམས་ཀྱི་ནོ་བདག་སྐྱེ་བོའི་དབང་རྩ་མ་ལག་གི་ཚད་སྐྱོན་རིགས་ངོས་ཟིན་པར་བཟོ་སོ་ཡོད། དེའིར་ན། པར་རིས་ཟེང་བ་འདིའི་ནང་སྤྱན་པ་དེས་ནད་པའི་མགོ་སོ་དེ་སོག་མར་ཟུར་ལྟུག་ཚ་ཚད་ ༩༥ ཚོད་དུ་གཞོགས་ལོགས་སུ་བསྐྱོག་ལ། དེ་ནས་མགྱོགས་པར་དེ་སུར་བསྐྱོགས་ཏེ་མགོ་བོའི་སྤྱི་གཙུག་དེ་དུ་ཚ་ནད་པའི་ནང་རྩ་ལས་ཀྱང་དམའ་བར་པའོ་ཡོད། གནས་སྐབས་འདི་དག་ཏུ་སྤུག་ལྟས་རང་དབང་མེད་ཅེང་ཟུན་ལྟན་མིན་པའི་མིག་གི་འགུལ་སྐྱོད་ཀྱི་རྣམ་པར་ཤེར་མངོན་ཟུབ་པ་རེད།

མིག་དང་སྤུག་ལྟན་མ་ལག་སྤྱེལ་མའི་ལྟོག་འགུལ་རྣམ་འགྱུར་ལ་རྒྱས་ལོན་བྱེད་པའི་ཐབས་ཚུལ།

དང་ཐོག་དེར། མིང་ཚིག་མང་པོ་འགོད་པའི་ཤོག་ལྷེ་ཞིག་རང་གི་མདུན་དུ་ཟུངས།
རང་གི་མགོ་སོ་གཞོགས་གཅིག་ནས་གཞན་བྱོགས་སུ་མ་ཟུད་དེ་བསྐོར།
དེ་ནས་ཚྭོད་ཀྱིས་ཤོག་བུའི་སྟེང་གི་མིང་ཚིག་རྣམས་ཀློག་ཟུབ་མིན་ལྟོས།

ཡང་ཐུར་བཞིན་ཤོག་ལྷེ་དེ་རང་གི་མདུན་དུ་ཟུངས་ལ། མགོ་སོ་མ་སྐུལ་བར་ཤོག་བུ་དེར་འགུལ་སྐྱོད་ཐོངས།
ཚྭོད་ཀྱིས་ད་དུང་ཤོག་བུ་སྟེང་གི་མིང་ཚིག་དེ་རྣམས་ཀློག་ཟུབ་མིན་ལྟོས། ཅིའི་ཕྱིར་ཟུབ་བམ། ཡང་ན། ཅིའི་ཕྱིར་མི་ཟུབ་བམ། ཚྭོད་ཀྱི་མགོ་སོ་དང་ལག་ལ་གཉེ་གེ་ནས་དབང་སོའི་ནང་ལའེ་ཟུང་ཆ་དེ་འཇུ་སོ་ནི་འདུག་མི་འདུག གནས་སྟངས་འདིའི་རིགས་ལ་དབང་ཆོད་ཟུར་ལྟས་ཀྱི་ཡོད་དམ།

འཕོར་ལོ་ཅན་ཀྱི་ཞབས་སྟེགས་ཤིག་གི་སྟེང་བསྡད་ནས་ཡོད་པ་བཞིན། ཡང་ན། ཡར་ལངས་སྐབས་སུ་འཕོད་པའི་རང་གི་གྲོགས་པོར་མདུན་བྱོགས་སུ་ཅེར་ཀྱི་ལག་ལེན་ཞིག་བལྟ་བར་མངོགས།
དཀྱོད་ཀྱིས་གྲོགས་པོ་དེ་བསྟེམས་ཏེ་བསྐོར་ལ།
སྟེམ་སྐོར་ཟེབས་བཞིན་པའི་གྲོགས་པོ་དེའི་མིག་གི་གཡོ་འགུལ་རྣམས་རང་ཉིད་ཀྱིས་ཚོར་ཀྱི་ཡོད་དམ།
(སྐབས་དེ་གར་)གྲོགས་པོ་དེས་རང་གི་མིག་གི་གཡོ་འགུལ་རྣམས་ཉིད་ཉིད་ཀྱིས་ཚོར་ཀྱི་ཡོད་དམ།
མིག་གི་གཡོ་འགུལ་དེ་དག་རྐྱེ་རྐྱེན་གང་གིས་འབྱུང་བ་ཡིན་ནམ། གནས་སྟངས་འདི་རིགས་ལ་དབང་ཚོར་དང་འགུལ་སྐྱོད་རྐྱེ་ལས་གང་དང་གང་འབེལ་བ་ཡོད་དམ། ལྟོག་འགུལ་བྱ་བ་འདི་རིགས་ཀྱི་བན་ཐོགས་གང་ཡོད་སྟེད་དམ།

In general, somatosensory information moves in hierarchical fashion from the afferent neurons of our somatosensors to our spinal cord to the thalamus and then to the somatosensory cortex of our brains. Recall from our discussion of vision in Neurosciences I that somatosensory information encodes four fundamental types of information: modality, location, intensity, and duration.

Let's consider these four types of information in terms of the modality of touch and our skin receptors as we touch the boy to pick him up in the forest. As you can see in Figure 26, we have four different types of skin touch-receptor cells, each with 'receptive fields' (analogous to visual receptive fields we discussed in *Neurosciences I*) in which they can sense stimuli. Different sensations occur when different types of receptors are stimulated. Pacinian corpuscles detect rapid vibrations (about 200–300 Hz), Meissner's corpuscles detect changes in texture (vibrations around 50 Hz) and adapt rapidly, Ruffini endings detect tension deep in the skin, and Merkel's receptors detect sustained touch and pressure.

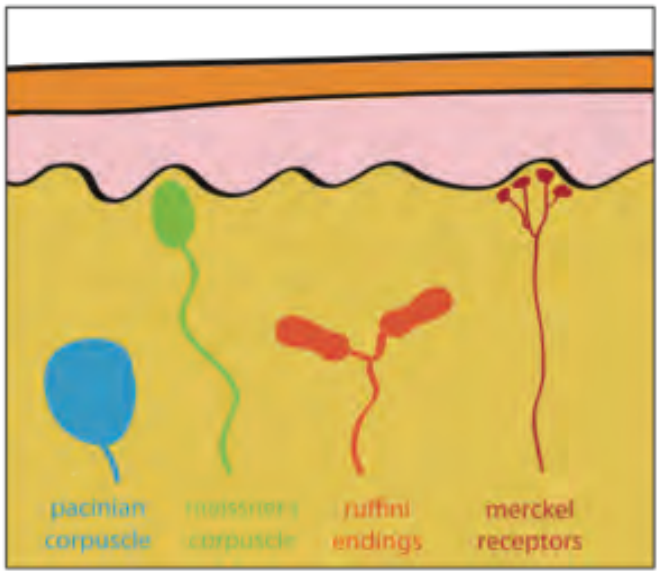


Figure 26: Four different types of mechanoreceptors or skin touch-receptors, each of which has a characteristic response to a different sensations.

When you feel your hands touch the boy, all four types of touch receptors fire. Activation of only Merkel and Ruffini receptors gives the sensation of steady pressure; activation of only Meissner's and Pacinian corpuscles gives the tingling sensation of vibration.

Location is sensed because receptors only activate when the stimulus occurs near them, in their particular receptive field. Merkel cells and Meissner's corpuscles encode the most precise localization information since they have the smallest receptive fields that are the most sensitive to pressure. They are also located closest to the surface of the skin.

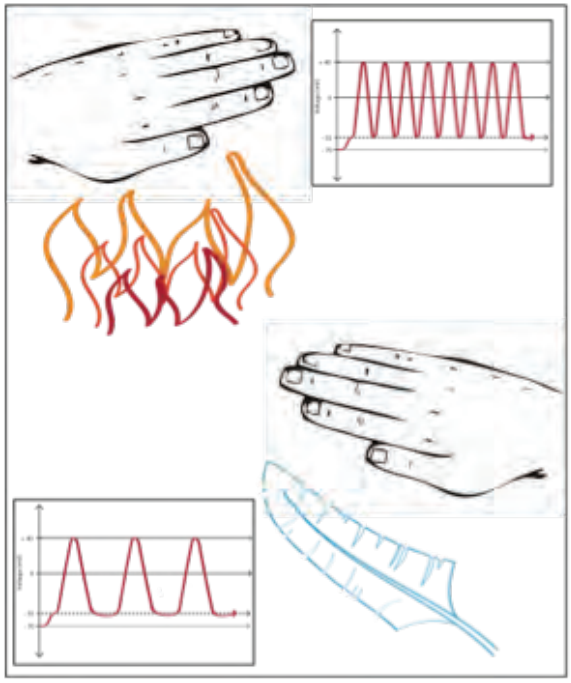
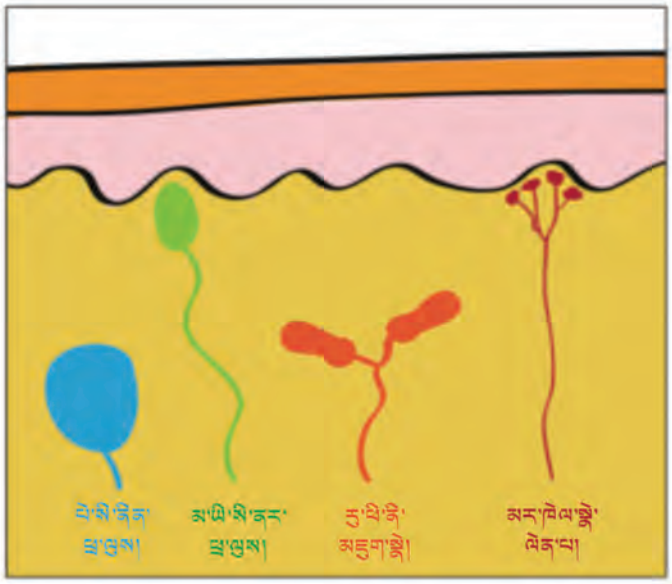
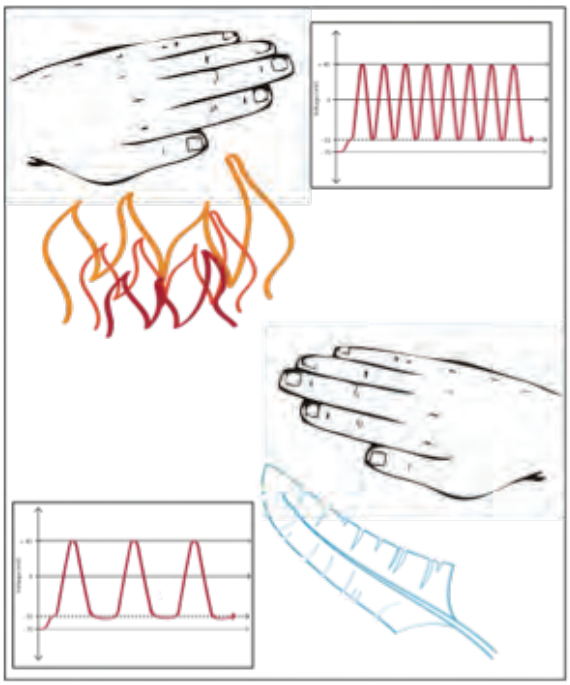


Figure 27: More intense sensory stimuli (for example, holding your hand close to a fire) results in a more rapid rate of neuronal firing than less intense stimuli (touching a feather)

Intensity of the sensation is encoded by the firing rate of the receptor neurons. The more action potentials are fired per second, the stronger the sensation (Figure 27). Receptors closest to the stimulus have higher firing rates



དཔེ་རིས། ༢༦ འགུལ་ཤུགས་སྡེ་ལེན་པའམ། ཡང་ན་པགས་བའི་རེག་ཚོར་སྡེ་ལེན་པའི་རིགས་བཞི་པོ་སོ་སོས་ཚོར་སྣོང་ནི་འཇུ་བ་སོ་སོར་ཡ་ལན་ཐུན་མོང་ནི་ལེ་སྤྲོད་པ་རེད།



དཔེ་རིས། ༢༧ དབང་ཚོར་གྱི་སྐུལ་རྒྱུན་རྣམས་(དཔེར་ན་ཁྲོད་ཀྱི་ལག་པ་མེའི་འཕྲམ་དུ་བརྒྱབ་པའི་སྐབས་ཤུ་བུ་)ཚོར་ཤུགས་ཏི་ཅམ་དུག་པ་ཡོད་པ་དེའི་ཚོད་དུ་དེ་དག་གི་དབང་ཚད་ཐུགས་འཕེན་པའི་རྒྱོས་སྤྲོད་ཀྱང་མཐོ་བ་ཡོད་ལ། དབང་ཚོར་གྱི་སྐུལ་རྒྱུན་ཚོར་ཤུགས་དམའ་བའི་རིགས་(དཔེར་ན་བྱ་སྤུར་རིགས་ཀྱི་ཐུ་ཁུ་)ཡང་ཚོར་ཤུགས་ཐུན་མོང་བ་ཞིག་ཡིན།

ཚོར་སྣོང་ནི་ཕྱི་ཁམས་ཚ་འཕྲིན་རིགས་བཞི་པོ་དེར་ཞིབ་དཔྱོད་ཅིག་བྱ། དེའང་ནགས་སྐྱང་ཁོད་དུ་སྤུར་གྱི་བྱིས་པ་བང་བ་དང་འབྲེལ་བའི་པགས་པའི་སྡེ་ལེན་པ་རྣམས་དང་རིགས་ཚོར་གྱི་རྣམ་པ་དང་སྦྲགས་ནས་བྱའོ། །ཁྲོད་ཀྱི་ས་དང་རེས་ ༢༨ ལས་མཐོང་ཟུབ་པ་བཞིན། ངཚོའི་པགས་པར་རིགས་ཚོར་སྡེ་ལེན་པའི་ཐུ་ཤུང་རིགས་བཞི་ཡོད་ཅིང་། དེ་རེ་རིར་རང་རང་གི་སྡེ་ལེན་ཁྱབ་ར་(དབང་ཚད་སྣོའི་སྣོན་དེ་ག་དང་ཡོར་མཐོང་ཚོར་དང་འབྲེལ་བའི་སྡེ་ལེན་ཁྱབ་ཡོད་ཆུལ་བཤད་པ་བཞིན་)རེ་ཡོད་པ་དེའི་ཁོངས་ཀྱི་དབང་ཚོར་སྐུལ་རྒྱན་རྣམས་རེས་ཚོར་བ་རེད། སྡེ་ལེན་པ་རིགས་མི་འབྲ་བ་ལ་ཡར་སྐུལ་ཐེབས་པ་ན་དབང་ཚོར་ཡང་ཐ་དད་པ་འགྲུབ་པ་རེད། དེ་ཡང་པེ་སི་ཅེན་ཐུ་ལུས་དག་གིས(ཉར་ཐེ་ ༩༠༠ ནས་ ༦༠༠ བར་ཀྱི་)འདད་འགྱལ་ཁྲུགས་ཡོའི་རྣམ་པ་ངོས་ཐེན་ལ། མ་ཡི་མི་ནང་ཐུ་ལུས་དག་གིས་ཅི་ཐགས་རན་བཟང་དན་ཀྱི་རྣམ་པ་ངོས་ཐེན་ཞིང་། དེར་དེ་མ་ཐག་འཚམ་འབྲིག་ཐེབ་པ་རེད། རུ་ཡི་ཅི་ཐུ་ལུས་དག་གིས་པགས་པའི་གཉིང་ཡོས་ཀྱི་རྣམ་པ་ངོས་ཐེན་པ་དང་། མར་ཁེལ་སྡེ་ལེན་པ་དག་གིས་རྒྱན་ཚགས་པའི་རེག་པ་དང་གཅོན་ཤུགས་ངོས་ཐེན་པ་རེད།

ནམ་ཞེག་རང་གི་ལག་བས་ཐེས་པ་དེར་རེག་པ་ཁྲོད་ཀྱིས་ཚོར་བ་ན། རེག་ཚོར་སྡེ་ལེན་པའི་རིགས་བཞི་ཀས(ལས་འདྲུག་ཆུས་པ་)འཚེན་པ་རེད། མར་ཁེལ་དང་རུ་ཡི་ཅི་སྡེ་ལེན་པ་ཅམ་ལ་ཡར་སྐུལ་ཐེབས་པ་ལས་རྒྱན་ཚགས་པའི་གཅོན་ཤུགས་ཀྱི་ཚོར་བ་སྐྱེ་ལ། མ་སི་ནང་དང་ཡེ་སི་ཅེན་ཐུ་ལུས་ཅམ་ལ་ཡར་སྐུལ་ཐེབས་པ་ལས་སྤྱིར་འཕྲུག་གི་ཚོར་བ་སྐྱེ་བ་རེད།

ས་ཁོངས་ཚོར་བའི་རྒྱ་མཚན་ཅི་རང་རང་གི་སྡེ་ལེན་ཁྲབ་རའི་ས་ཁྲངས་གང་ཞེག་ཏུ་སྐུལ་རྒྱུན་འཕྲད་པའི་ཉེ་འཁྱེས་ཁོ་ནར་སྡེ་ལེན་པ་དེ་དག་སང་ཀྱི་ཡོད་པས་ཡིན། མར་ཁེལ་ཐུ་ལུང་དང་ཆེ་སི་ནར་ཐུ་ལུས་གཉེས་ལ་སྡེ་ལེན་ཁྲབ་ར་ཆུང་ཙམ་ཡོས་ཡོད་པས་ཐུ་ལུས་ཀྱི་ཡོད་པས་ཡིན། ངར་ཁེལ་ཐུ་ལུང་དང་ཆེ་སི་ནར་ཐུ་ལུས་ཅམ་ལ་ཡར་སྐུལ་ཐེབས་པ་ལས་སྤྱིར་འཕྲུག་གི་ཚོར་བ་སྐྱེ་བ་རེད།

ཚོར་སྣོང་དེའི་དབྱ་ཚད་ཞེ་སྡེ་ལེན་པར་ཀྱུར་པའི་དབང་ཚ་ཐུ་ཤུགས་དེའི་སང་སྣོང་གི་ཟློས་ཐྱོད་ལ་གཞིགས་ཏེ་བརྟེག་བྱེད་པ་རེད། དེས་ན་སྐར་ཚ་གཅིག་ནང་ལས་འདྲུག་ཆུས་པ་ཇི་ཙམ་མང་བ་འཕེན་པ་དེའི་ཚོར་དུ་དེའི་ཚོར་སྣོང་གི་དབྱ་ཚད་ཡིན། (དཔེ་རིས། ༢༧) སྐུལ་རྒྱུན་དང་ཆུང་རིང་དུ་འགོད་པའི་སྡེ་ལེན་པ་ནམལས་ལ་ལྷོས་ཏེ་སྐུལ་རྒྱུན་དང་ཁབ་ཞེར་འགོད་པའི་སྡེ་ལེན་པ་ནམལས་ལ་ལས་འདྲུག་ཆུས་པ་འཕེན་པའི་ཟློས་ཐྱོད་མཐོ་ཡོད། ལུས་ཚོར་དབང་ཙ་ཐུ་ཤུགས་ནི་འབྲ་བ་སོ་སོས་སྐུལ་རྒྱུན་སོ་སོར་བསྡུན་སྤྲིག་བྱེད་ཆུལ་ནི་མཆུངས་ལ། སྡེ་ལེན་པ་གང་དག་གིས་དལ་ཀྱིས་ཁུས་ཀྱང་ཟློས་བྱེད་པ་ནམས་དང་གི་སྐུལ་རྒྱུན་འཕྲད་པའི་དུས་ཡུན་ཏེལ་སོར་དེ་དག་ལ་ལ་ལན་ཟློད་ཅིང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་དོ་བདག་སྐྱེ་བོས་དུས་ཡུན་ཀྱི་བགྱོད་པ་ཚོར་ཐུ་ཡོད་ལ། ནམ་ཞེག་གཅིན་ཤུགས་ངོས་ཐེན་པ་རེད།

than distant receptors. Different somatosensory neurons adapt differently to stimuli. Slowly-adapting sensors respond during the entire time the stimulus occurs so we can sense duration. These sensors increase frequency of firing when pressure increases. Rapidly adapting sensors fire only when the stimulus starts and finishes, allowing us to sense change in skin pressure.

Like with all somatosensation, the interpretation or processing of touch is hierarchical (Figure 28). Stimulation of a population of skin receptors sends signals through a series of relay nuclei in the spinal cord to higher brain centers. As the signal moves through the nervous system hierarchy it is integrated with more complex sensory information. For example, the signal of 'touching the boy to pick him up' is integrated with emotional information, perhaps about 'feeling compassion for the boy' and with information about your past experiences and how to respond to sensations like contact warmth or the weight and trembling of the child.

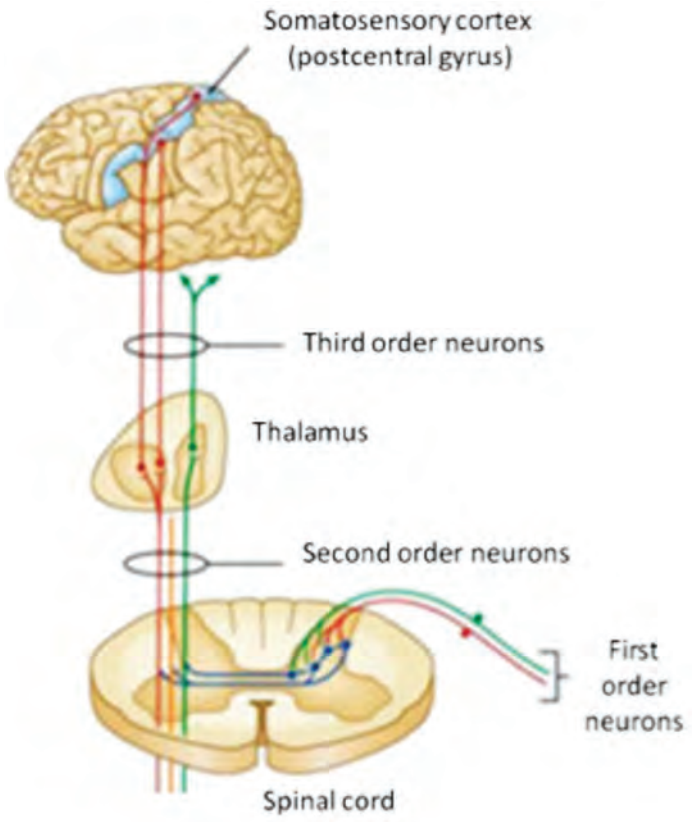


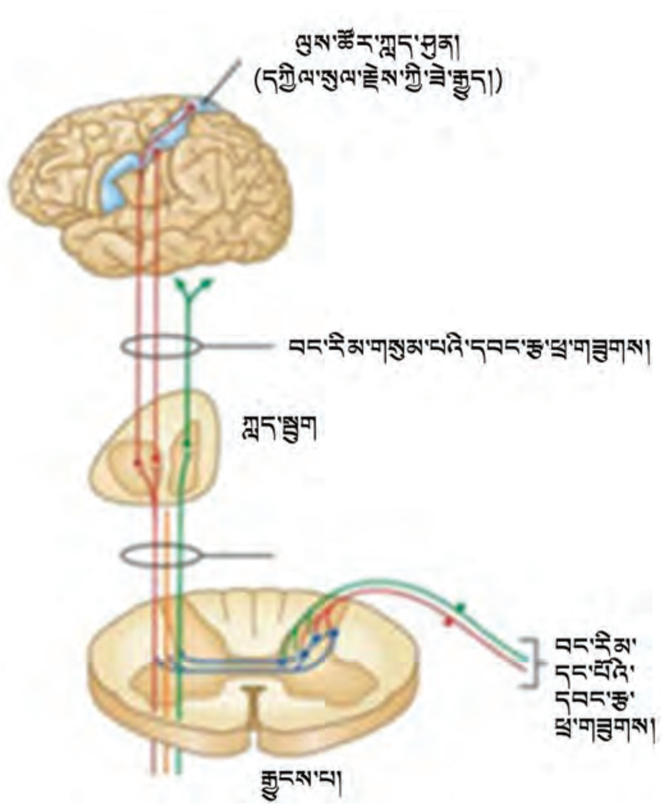
Figure 28: Hierarchical relay of sensory information through the spinal cord and thalamus and synapsing final in the somatosensory cortex

Box 8. IN-DEPTH: THE SENSE OF TOUCH: TWO-POINT DISCRIMINATION ACTIVITY

How does the skin let the brain know what it is touching? When we want to find out if something is smooth or rough, we run our fingertips over it, rather than the palm of our hands or our elbows. We can feel a tiny fragment of a bone in our mouths when we're eating, but we don't notice one at all if we step on it barefoot. How is it that part of your body is "better" at getting touch information?

Information from our skin allows us to identify distinct types of sensations, such as tapping, vibration, pressure, pain, heat, and cold. As we see in Figure 26, human skin contains different kinds of sensory receptor-cells that respond preferentially to various mechanical, thermal, or chemical stimuli. Next, these receptors convey the information to the central nervous system (CNS), to areas where we perceive the stimuli. To accomplish this, the nerve endings of the sensory receptors transduce, or convert, mechanical, thermal, or chemical energy into electrical signals.

To sense two separate points of touch contact, we must be able to discriminate one point from another. When a stimulus is presented within the receptive field of a single sensory afferent, the location within that receptive field cannot be determined by information from that single sensory neuron alone. Two-point discrimination therefore depends on both the size of the receptive field as well as the distance between receptors in the skin. Some regions of the skin have a large number of receptors, while other regions have fewer. Neurologists, physicians



དཔེ་རིས། ༢༨ དབང་ཚོར་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་མས་འཛེགས་ཀྱིས་རྒྱུངས་པ་དང་། དེ་ནས་ཀླད་སྦུག་དང་། མཐར་ལུས་ཚོར་ཀླད་ཤུན་ཁུལ་དུ་མཐུད་མཚམས་སྦྱོར་ལུགས་ཀྱི་རྣམ་པ།

ཀྱི་ཚད་འཕར་བ་ན་སྣེ་ལེན་པ་འདི་དག་གི་(ལས་འཛུག་ཉུས་པ་)འཕེན་པའི་རློས་ཕྱོད་ཀྱི་ཚད་འཕར་གྱི་ཡོད། སྣེ་ལེན་པ་གང་དག་འཕྲལ་དུ་བསྡུན་སྒྲིག་བྱེད་པ་རྣམས་ནི་རང་གི་སྐུལ་རྐྱེན་འཕྲད་པའི་རྒྱུན་ཐག་གི་འགོ་མཇུག་ཁོ་ནར་(ལས་འཛུག་ཉུས་པ་)འཕེན་ལ། དེས་པགས་པའི་སྟེང་གི་གནོན་ཤུགས་ལ་ཐེབས་པའི་འགྱུར་བ་རྣམས་དོ་བདག་སྐྱེ་བོས་ཚོར་དུ་འཇུག་གི་ཡོད།

ལུས་ཚོར་གྱི་རིགས་ཀུན་དང་འདྲ་བར། རེག་ཚོར་གྱི་བྱེད་རིམ་མམ་གློག་འཁྲིལ་བྱ་བ་འདི་ཡང་མས་བརྟན་ནས་རིམ་གྱིས་གོང་འཕེལ་(དཔེ་རིས། ༢༨)དུ་གྱུར་པའི་ཚུལ་གྱིས་འགྲུབ་པ་རེད། པགས་པའི་སྟེང་གི་སྣེ་ལེན་པའི་ཚོགས་ལ་ཡར་སྐུལ་ཐེབས་པ་ལ་བརྟེན་ནས་རྒྱུངས་པར་འཁོད་པའི་བརྒྱུད་འདྲེན་ལྟེ་ཉིང་ཐེང་བ་ཞིག་བརྒྱུད་ཀླད་པའི་ཁྲོན་གྱི་ལྟེ་གནས་མང་པོར་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་ལ། ཚུལ་དེ་ལྟར་དུ་དབང་རྩ་མ་ལག་རྒྱུད་ཀྱི་གྲེན་འཕེལ་རིམ་པར་བརྡ་འཕྲིན་བརྒྱུད་གཏོང་བྱེད་པ་ན་དེ་དང་དུས་མཚུངས་སུ་བརྡ་འཕྲིན་དེ་ཉིད་རྟོག་འཛིང་ཇེ་ཆེར་གྱུར་པའི་དབང་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་དང་ལྷན་དུ་འདྲེས་འགྲོ་བ་རེད། དཔེར་ན། བྱིས་པ་པང་བའི་ཆེད་དུ་དེ་ལ་རེག་པའི་བརྡ་འཕྲིན་དེ་དེར་དམིགས་པའི་སྙིང་རྗེའི་རང་བཞིན་གྱི་སེམས་སྔོང་ཆ་འཕྲིན་དང་འདྲེས་འགྲོ་བ་དང་། དེ་དག་ཀྱང་བྱིས་པའི་འདྲར་ཞུམ་དང་། ལྤིད་གནོན་དང་། ལུས་དྲོད་བཅས་དང་འབྲེལ་བའི་རང་གི་འདས་པའི་མྱོང་བའི་སྐོར་གྱི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་དང་འདྲེས་འགྲོ་བ་ལྟ་བུ་རེད།

སྒྲོམ་བུ་བརྒྱད་པ། གཉིང་རྩུགས་པའི་ལྟ་ཞིབ། རེག་པའི་དབང་ཚོར། སྣེ་གཉིས་སྒྲུ་རིས་འབྱེད་པའི་བྱ་གཞག

པགས་པས་རང་ཉིད་ཀྱིས་གང་ཞིག་ལ་རེག་མིན་དེ་ཀླད་པར་ཇི་ལྟར་ཤེས་སུ་འཇུག་གམ། གང་གི་ཚེ་ང་ཚོས་དངོས་པོ་ག་གེ་མོ་ཞིག་འཛམ་རྩུབ་ཇི་ཡིན་འཚོལ་བར་ཞུགས་པ་ན། ང་ཚོས་རང་གི་མཇུབ་རྩེས་དངོས་པོ་དེའི་ངོས་སུ་ཙུལ་ཙུལ་བྱེད་ཀྱི། རང་གི་ལག་མཐིལ་ལམ། ཡང་ན་གྲུ་མོས་ཙུལ་ཞིབ་མི་བྱེད། ང་ཚོ་ཐམས་ལ་རོལ་བཞིན་དུ་ཁའི་ནང་གི་ཉུས་པ་ཕྲ་མོ་ག་འདྲ་ཞིག་ཡིན་ཡང་ང་ཚོས་ཚོར་ཐུབ་ལ། འོན་ཀྱང་རྐང་རྗེན་འོག་གི་དེ་དག་ནི་མཐའ་གཅིག་ཏུ་ཚོར་བའི་ངེས་པ་མེད། དེས་ན་ལུས་པོའི་ཆ་ཤས་འགའ་ཞིག་གཞན་ལ་ལྟོས་ཏེ་རེག་ཚོར་གྱི་ཆ་འཕྲིན་ཚོར་སྐྱེན་པ་དེ་འདྲ་གང་གིས་ཡིན་ནམ།

ང་ཚོའི་པགས་པ་ནས་སོན་པའི་ཆ་འཕྲིན་དག་གིས་ང་ཚོར་རེག་བྱའི་རིགས་མི་འདྲ་བ་ངོས་འཛིན་བྱེད་པར་རམ་འདེགས་བྱེད་དེ། དཔེར་ན། ཐོག་རྗེབ་དང་། འདར་འགྱུལ། གནོན་ཤུགས། ཟུག་རྫུ། ཚ་རེག གྲང་རེག་ལྟ་བུ་ཡིན། ང་ཚོས་དཔེ་རིས་ ༢༩ ནང་མཐོང་བ་བཞིན་མིའི་པགས་པར་དབང་ཚོར་སྣེ་ལེན་ཕྲ་ཕུང་རིགས་སྣ་ཚོགས་ཤིག་འདུས་ལ། དེ་དག་གིས་འགྱུལ་ཤུགས་དང་། ཚ་དྲོད་དང་། རྫས་སྦྱོར་བཅས་སོ་སོའི་རང་བཞིན་དུ་གྱུར་པའི་སྐུལ་རྐྱེན་མི་འདྲ་བར་འཕྲོད་གཤིས་མི་གཅིག་པའི་སྒོ་ནས་ཡ་ལན་སྤྲོད་པ་རེད། དེ་རྗེས་སྣེ་ལེན་པ་འདི་དག་གིས་ཆ་འཕྲིན་དེ་ཉིད་དབང་རྩ་ལྟེ་བའི་མ་ལག་ལ་འདྲེན་པ་སྟེ། དེའི་འབྲེལ་ཡོད་ས་ཁུལ་སོ་སོར་འདྲེན་པའི་རྗེས་སུ་སྐུལ་རྐྱེན་དེ་དག་ལ་བརྟེན་པའི་འདུ་ཤེས་བསྐྱེད་པ་རེད། དེ་ལྟར་སྐུལ་ཐུབ་པར་དབང་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་སོ་སོའི་དབང་རྩའི་མཇུག་སྣེ་དག་གིས་འགྱུལ་ཤུགས་དང་། ཚ་དྲོད་དང་། རྫས་འགྱུར་བཅས་ཀྱི་ངོ་བོར་གྲུབ་པའི་ཉུས་པ་དེ་དག་གློག་འགྱུར་བརྡ་འཕྲིན་གྱི་ངོ་བོར་བསྒྱུར་རམ་ཁ་སྒྱུར་གཏོང་དགོས་ཀྱི་ཡོད།

རེག་ཐུག་གི་སྣེ་ཐ་དད་པ་གཉིས་ཚོར་བ་ལ་ང་ཚོས་སྣེ་གཉིས་པོ་དེ་ནང་གསེས་སོ་སོ་ནས་སྒྲུ་རིས་འབྱེད་ཐུབ་དགོས། དེ་ཡང་ནང་འདྲེན་དབང་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་བྱེ་བྲག་པ་གཅིག་གི་སྣེ་ལེན་ཁྱབ་རའི་ཁོངས་སུ་སྐུལ་རྐྱེན་ཞིག་ཚུད་པའི་དབང་དུ་བཏང་ན། ཁྱབ་ར་དེའི་ཁྲོན་གྱི་ས་ཕྱོགས་གང་དུ་སྐུལ་རྐྱེན་དེ་འཁོད་ཡོད་མིན་ནི་ནང་འདྲེན་དབང་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་བྱེ་བྲག་པ་གཅིག་པུ་དེ་ལས་སོན་པའི་ཆ་འཕྲིན་ཁོ་ན་ལ་བརྟེན་ནས་ངེས་གཏན་བྱེད་མི་ཐུབ། དེས་ན་སྣེ་གཉིས་སྒྲུ་རིས་འབྱེད་པ་ནི་སྣེ་ལེན་ར་བའི་རྒྱ་ཁྱོན་དང་པགས་པའི་སྟེང་གི་སྣེ་ལེན་པ་སྦར་ཚུན་དབང་གི་རྒྱང་ཐག་གཉིས་ཀར་རག་ལས་ཡོད། པགས་པའི་ཆ་ཤས་འགའ་ཞིག་ལ་སྣེ་ལེན་པའི་གྲངས་ཀ་ཅང་མང་བ་དང་འགའ་ཞིག་ལ་ཉུང་བ་ཡོད། དབང་རྩའི་སྐྱན་པ་སྟེ། དབང་རྩ་མ་ལག་གི་ནད་རིགས་སྐོར

who specialize in diseases of the nervous system, sometimes test patients for two-point discrimination. They may do this if they suspect a problem with sensory information entry to the skin, the pathways to the brain, or the interpretation of sensory information.

Try these activities investigating two-point discrimination in groups of at least three people: a respondent, an experimenter, and a recorder:

1. Choose at least two different areas of the skin to test. Respondents must sit with eyes closed.
2. Experimenters take two toothpicks and prick subjects' skin about 1 cm apart with both toothpicks at the same time
3. Respondents report if they feel one or two pricks. If respondents feel two pricks at different times, then the trial should be repeated with the toothpicks touching the skin simultaneously. Experimenters then gradually reduce the distance between the toothpicks. The tester may also want to alternate between one and two toothpicks in order to keep the volunteer from guessing.
4. For each respondent and each skin location, record the smallest distance found between the two pricks where the volunteer can feel two rather than one prick. This is the discrimination sensitivity. Repeat each test at least 3 times for each skin location.
5. Each group should test all members in a few different areas of the body (hands, fingers, arm, leg, back, etc.)

QUESTIONS

1. How different is the two-point discrimination sensitivity across different body regions? Why do you think the differences exist? Are they the same across different individuals? Illustrate these differences by plotting the responses on a graph.
2. Which areas of your skin have the highest receptor density? Do you think it is the areas with the largest two-point discrimination distances or the smallest distances?
3. Draw a diagram of how the information from the skin receptors reaches the brain. Which brain area do you think is larger, the one receiving information from skin with lots of receptors or with few receptors?

Each sensory receptor connects through a series of relay neurons with a central nervous system neuron. A given central neuron responds to all information from its input area (the skin area that is the gathering field for only that cell) as if it were coming from one point. This skin area is called the receptive field of the central neuron. On the arm, each sensory receptor gathers information from a much larger skin area than a receptor on the fingertip, and this receptor is also connected to a defined central neuron. This central neuron, like the central "finger neuron", interprets all input as coming from one point, even though the skin area in this case is much larger. In order for a person to feel two points, two separate central neuronal populations must be activated by stimulation of their respective receptive fields. When this happens, two points are reported.

In sum, two-point discrimination depends on activating two separate populations of neurons, and in order to discriminate two closely placed points, the receptive fields of the neurons must be small. This in turn means that the receptors must be densely packed in a sensitive area, so that two points very close together activate different receptors.

ཆེད་ལས་པའི་སྨན་པ་དག་གིས་སྐབས་འགར་ནད་པར་སྣེ་གཉིས་སྐྱ་རིས་ཀྱི་ནུས་པ་ཡོད་མེད་བརྟག་དཔྱད་བྱེད་ལ། དེ་ནི་གལ་ཏེ་ནད་པ་དེའི་པགས་པར་དབང་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་ལུགས་མཐུན་དུ་འགྲོར་གྱི་ཡོད་མེད་ཐད་དོགས་གཞི་བྱུང་བའམ། ཡང་ན་དེའི་གླད་པའི་བར་རྒྱུག་པའི་དབང་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་རྒྱུ་ལམ་ལ་གནོད་སྐྱོན་ཡོད་མེད་ཐད་དོགས་གཞི་བྱུང་བའམ། ཡང་ན་ནད་པ་དེའི་རྒྱུད་ཀྱི་དབང་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་ལ་གློག་འཁྱིལ་རྒྱུག་པའི་ནུས་པ་དེ་བདེ་འཇགས་ཡོད་མེད་ཐད་དོགས་གཞི་བྱུང་ཚེ་བརྟག་དཔྱད་དེ་དག་བྱེད་པ་རེད།

བརྟག་དཔྱད་བསྒྲུབ་ཡུལ་གྱི་ཡ་ལན་པ་ཞིག་དང་། བརྟག་དཔྱད་སྒྲུབ་མཁན་ཞིག ཟིན་ཐོ་བ་ཞིག་བཅས་ཉུང་མཐར་མི་གསུམ་ལས་གྲུབ་པའི་རུ་ཁག་ཁྲིད་གཤམ་གསལ་སྣེ་གཉིས་སྐྱ་རིས་བྱ་བ་དང་འབྲེལ་བའི་བྱེད་སྒོ་རྣམས་ཚོད་ལྟ་གྱིས།

༡ བརྟག་དཔྱད་དབྱེ་ཞིབ་ཆེད་པགས་པའི་སྟེང་གི་ས་ཁུལ་གཉིས་ངོས་བཟུང་ལ། བརྟག་བྱའི་ཡ་ལན་པ་རྣམས་ཀྱི་མིག་ངེས་པར་འཛུམ་ནས་སྡོད་འཛུག་དགོས།

༢ བརྟག་དཔྱད་པ་དག་གིས་སོ་འདྲུ་བྱེད་ཀྱི་ཤིང་གཉིས་བཟུང་ལ། སེན་ཏི་མི་ཏར་གཅིག་གི་བར་ཁྱད་ཚོད་སར་འདྲུ་ཤིང་གཉིས་པོས་བརྟག་བྱའི་ཡ་ལན་པའི་པགས་པའི་སྟེང་དུས་མཉམ་དུ་སྣུན།

༣ བརྟག་བྱའི་ཡ་ལན་པ་དག་གིས་གཟེར་ཟུག་གཅིག་གམ་གཉིས་གང་ཞིག་ཚོར་མིན་ཡོད་དགོས། གལ་ཏེ་ཡ་ལན་པ་དག་གིས་གཟེར་ཟུག་གཉིས་པོ་དུས་ཚིགས་མི་འདྲ་བ་སོ་སོར་མྱོང་ཡོད་ཚེ། སྔར་གྱི་བརྟག་པ་སླར་ཡང་བསྐྱར་ནས་བསྒྲུབ་དགོས་ཤིང་། འདྲུ་ཤིང་གཉིས་པོ་ངེས་པར་དུས་མཉམ་དུ་བསྣུན་དགོས། བརྟག་དཔྱད་པ་དག་གིས་རིམ་བཞིན་འདྲུ་ཤིང་གཉིས་པོའི་བར་ཐག་རེ་ཐུང་རེ་ཐུང་དུ་གཏོང་དགོས་ལ། དེར་མ་ཟད་བརྟག་དཔྱད་པ་དག་གིས་བར་བར་དུ་འདྲུ་ཤིང་གཅིག་དང་གཉིས་སྤེལ་མར་བཙུགས་པའི་སྒོ་ནས་བརྟག་བྱའི་སྐྱེ་བོ་དག་གིས་འོལ་ཚོད་ཀྱིས་ཐག་གཅོད་བྱེད་རིགས་འགོག་དགོས།

༤ ཡ་ལན་པ་རེ་རེར་པགས་པའི་ས་ཁུལ་སོ་སོར་བརྟག་དཔྱད་བྱེད་བཞིན་དུ་ཟུག་རྫུ་གཉིས་སོ་སོར་ཚོར་ཐུབ་པའི་བར་ཁྱད་ཐུང་ཤོས་དེ་གྲངས་ཐོར་འགོད་དགོས། འདི་ཉིད་སྐྱ་རིས་འབྱེད་པའི་ཚོར་དད་དེ་ཡིན། དེ་ལྟར་དུ་པགས་པའི་ས་ཁུལ་རེར་ཉུང་མཐར་བརྟག་དཔྱད་གསུམ་རེ་བསྐྱར་དགོས།

༥ རུ་ཁག་སོ་སོས་རང་གི་ཚོགས་མི་ཀུན་ལ་ལུས་ཕུང་གི་ཆ་ཤས་མི་འདྲ་བ(ལག་པ། མཛུབ་མོ། དཔུང་པ། རྐང་པ། རྒྱབ་ལ་སོགས་པ་)ཁ་ཤས་ལ་དེ་ལྟར་དུ་བརྟག་པ་བྱེད་དགོས།

དྲི་བ།

༡ པགས་པའི་སྟེང་གི་ས་ཁུལ་སོ་སོའི་དབར་སྣེ་གཉིས་སྐྱ་རིས་འབྱེད་པའི་ནུས་སྟོབས་ཆེ་ཆུང་ལ་ཁྱད་པར་ཅི་ཞིག་ཡོད་དམ། དེ་ལྟའི་ཁྱད་པར་ཡོད་པ་ཅིས་ཡིན་ནམ། ས་ཁུལ་དེ་དག་དབར་གྱི་ཁྱད་པར་རྣམས་སྐྱེ་བོ་ནང་པན་ཚུན་དབར་གཅིག་མཚུངས་ཡིན་ནམ། ཡ་ལན་པའི་ལན་འདེབས་རྣམས་ལ་གཞིགས་ཏེ་ཁྱད་པར་འདི་རྣམས་ཐིག་རིས་སྟེང་འགྲེལ་མཚོན་གྱིས།

༢ སྣེ་ལེན་པའི་སྟུག་ཚད་མཐོ་ཤོས་ཡོད་སའི་པགས་པའི་སྟེང་གི་ས་ཁུལ་གང་དང་གང་ཡིན་ནམ། ཁྱོད་ལྟར་ན་ས་ཁུལ་འདི་དག་སྣེ་གཉིས་ས་ཚིགས་དབང་བར་ཐག་རིང་ཤོས་ཡོད་པའི་ས་ཁུལ་ཡིན་ནམ། འོན་ཏེ་ཐུང་ཤོས་ཡོད་པ་དག་ཡིན།

༣ པགས་པའི་སྟེང་གི་སྣེ་ལེན་པའི་ས་ནས་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་གླད་པར་འགྲོར་ཚུལ་ཇི་ལྟར་ཡིན་འགྲེལ་མཚོན་བྱེད་པའི་དཔེ་རིས་ཤིག་ཐྲིས། སྣེ་ལེན་པའི་རྣམ་གྲངས་མང་སའི་པགས་པའི་གནས་ཤིག་ནས་ཆ་འཕྲིན་འགྲོར་བའི་གླད་པའི་ཆ་ཁུལ་དང་། སྣེ་ལེན་པ་ཉུང་ངུ་ལས་མེད་པའི་པགས་པའི་གནས་ཤིག་ནས་ཆ་འཕྲིན་འགྲོར་བའི་གླད་པའི་ཆ་ཁུལ་ཏེ། གླད་པའི་ཆ་ཁུལ་དེ་གཉིས་པོ་ལས་གང་ཞིག་རྒྱ་ཁྱོན་ཆེ་བ་ཡིན་ནམ།

དབང་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་རེ་རེ་ནས་བརྒྱུད་གཏོང་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་ཀྱི་ཐྲེང་བ་ཞིག་བརྒྱུད་དབང་རྩ་ལྟེ་བའི་མ་ལག་ཏུ་གཏོགས་པའི་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་ཤིག་ལ་སྦྲེལ་མཐུད་བྱེད་ལ། མ་ལག་ལྟེ་བའི་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དེས་ནི་རང་གི་ནང་འཛིན་ས་ཁུལ་(པགས་པའི་ཆ་གང་ཞིག་ནས་ཐྲ་ཕྲུང་དེ་ཁོ་ནས་བསྡུ་ལེན་བྱེད་དུང་བའི་ས་ཁུལ་)ནས་འགྲོར་བའི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་འབྱུང་ཁུངས་ཀྱི་སྣེ་གཅིག་རང་ནས་ཐོན་པ་ལྟ་བུའི་ཚུལ་གྱིས་དེ་ཀུན་ལ་ཡ་ལན་འདེབས་པ་རེད། པགས་པའི་ས་ཁུལ་འདི་ལ་མ་ལག་ལྟེ་བའི་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་ཀྱི་སྣེ་ལེན་ཁྱབ་ར་ཞེས་སུ་འབོད། དེ་ཡང་མཛུབ་རྩེར་ཡོད་པའི་སྣེ་ལེན་པ་དག་ལ་ལྟོས་ན་དཔུང་པའི་སྟེང་གི་དབང་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་རེ་རེས་འབྱུང་ཁུངས་གང་ཞིག་ནས་ཆ་འཕྲིན་བསྡུ་རུབ་བྱེད་སའི་པགས་གནས་ས་ཁུལ་དེ་ཧ་ཅང་རྒྱ་ཆེ་ཞིང་། སྣེ་ལེན་པ་དེ་རེ་རེ་ནས་མཚན་ཉིད་ངེས་གཏན་ཅན་གྱི་མ་ལག་ལྟེ་བའི་དབང་ཚོར་ཐྲ་གཟུགས་ཤིག་དང་སྦྲེལ་ནས་ཡོད། མ་ལག་ལྟེ་བའི་མཛུབ་རྩེ་འབྲེལ་བའི་དབང་ཚོར་ཐྲ་གཟུགས་དང་འདྲ་བར། མ་ལག་ལྟེ་བའི་དབང་ཚོར་ཐྲ་གཟུགས་འདིས་ཀྱང་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་འབྱུང་སྣེ་གཅིག་རང་ནས་ཐོན་པར་བལྟས་པའི་སྒོ་ནས་དེ་ཀུན་ལ་ཡ་ལན་འདེབས་ལ། དེ་ལྟར་ནའང་དོན་དངོས་སུ་ནི་སྐབས་འདིའི་འབྲེལ་ཡོད་པགས་པའི་ས་ཁྱོན་དེ་སྔ་མ་ལས་ཀྱང་ཧ་ཅང་ཆེ་བ་ཡིན། དེ་ཡང་སྐྱེ་བོ་ཞིག་གིས་སྣེ་གཉིས་ཀ་ཚོར་ཐུབ་པ་ལ་ནི། མ་ལག་ལྟེ་བའི་དབང་ཚོར་ཐྲ་གཟུགས་ཀྱི་སྣེ་ཚན་ཐ་དད་པ་གཉིས་ཀྱི་རང་རང་གི་འབྲེལ་ཡོད་སྣེ་ལེན་ར་བར་ཡར་སྐྱུལ་ཐེབས་པ་ཞིག་ངེས་པར་དུ་དགོས་ཤིང་། འདི་འདྲ་ནས་བྱུང་བ་ན་སྣེ་གཉིས་ཚོར་བའི་མྱོང་བ་འབྱུང་བར་བཤད་པ་རེད།

མདོར་བསྡུས་ཏེ་བཤད་ན། སྣེ་གཉིས་སྐྱ་རིས་ཀྱི་བྱ་བ་འགྲུབ་པར་དབང་ཚོར་ཐྲ་གཟུགས་ཀྱི་ཚོགས་ཐ་དད་པ་གཉིས་ལ་སད་སློང་ཐེབས་པར་ངེས་པར་རག་ལུས་ལ། མ་ཟད་ཉེ་འཁྲིས་སུ་འཁོད་པའི་ཚོར་སྣེ་གཉིས་ཀྱི་དབྱེ་བ་ཚོད་པར་དབང་ཚོར་ཐྲ་གཟུགས་སོ་སོའི་སྣེ་ལེན་ར་བ་རྣམས་ངེས་པར་དུ་རྒྱ་ཁྱོན་ཆུང་ངུ་ཞིག་ཡིན་དགོས། འདིའི་གོ་དོན་ནི་འདི་ལྟ་སྟེ། ཚོར་དད་ཆེ་བའི་ས་ཁུལ་བྱེ་བྲག་པ་ཞིག་ཏུ་འབྲེལ་ཡོད་སྣེ་ལེན་པ་རྣམས་ཚགས་དམ་པོར་འཁོད་དགོས་ཏེ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ཆེས་ཁད་ཉེར་འཁོད་པའི་ཚོར་སྣེ་གཉིས་པོས་སྣེ་ལེན་པ་ཐ་དད་པ་སད་སློང་ཐུབ་པ་འབྱུང་བའི་ཕྱིར།

After it has left the spinal cord and passed through the brainstem, most of the incoming motor control and somatosensory information moves through a part of the brain called the thalamus (Figure 28). The thalamus serves as the gateway for all of the incoming sensory information and for the outgoing motor information; the thalamus monitors and modulates sensory information on its way to the rest of the brain. The thalamus is particularly important because it can increase or decrease the intensity of the signal on its way to the cortex. The more intense the signal sent on by the thalamus, the more attention we give to the stimuli. Importantly, there is heavy communication feeding back to the thalamus from the higher levels of the brain that helps determine how the thalamus modulates the information coming through it. It is thought that this back and forth communication between the brain cortex and the thalamus is central to what we call attention.

To appreciate how important sensory gating is to our minute-to-minute functioning, let us think back to your walk in the woods. Your attention was drawn to your sore toe after you tripped on the root; although your brain was receiving sensory information from all of your toes prior to the injury, it simply did not reach the level of your awareness. Similarly, as you sit and read, your brain is receiving information from all parts of your body and your environment, from the sensation of your legs touching the surface of the chair to the background sounds you notice once you willfully pay attention. Imagine what our realities would be if we were aware of all of this sensory information that descends upon our brains! The sensory gating that goes on in the thalamus is crucial for enabling us to pay attention to the most pressing sensory information, as ultimately demonstrated by your ability to completely forget your injured toe as soon as you heard the urgent cries of a child.

Clearly—through the thalamus and other cortical areas—sensing and movement are tightly coordinated and regulated. Thus, it is probably no coincidence that somatosensory and motor cortex control centers are so close to each other in the brain. Remember from Neurosciences I that the motor and somatosensory cortices are organized as detailed maps that correspond to all the parts of the body (Figure 29). In the somatosensory cortex, more sensitive body parts have more of the cortex devoted to it. Likewise in the primary motor cortex, muscle groups that make the most skilled movements have the most cortical neurons. Therefore, thinking back to the third question in Box 6, we can expect that the more sensitive areas that have more receptors will have greater representation in the somatosensory cortex.

རྒྱངས་པ་དང་ཀླད་རྐང་གཡུགས་རྗེས་འགྱུལ་སྐྱོད་ཚོད་འཛིན་དང་ལུས་ཚོར་དང་འབྲེལ་བའི་ཁ་ནང་ཕྱོགས་ཀྱི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་ཀླད་སྨྱུག་ཏུ་འབོད་པའི་ཀླད་པའི་ཆ་ཤས་བརྒྱུད་ནས་བགྲོད་པ་རེད།(དཔེ་རིས། ༣༨) ཀླད་སྨྱུག་ནི་དབང་ཚོར་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་ཀླད་པའི་ཕྱོགས་སུ་རྒྱུ་བ་རྣམས་དང་། འགྱུལ་སྐྱོད་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་ཀླད་པ་ནས་ཕྱིར་འཐོན་པ་རྣམས་ལ་ལྟོས་ཏེ་གཞུང་སྒོ་ལྟ་བུའི་དགེ་མཚན་ཡོད། ཀླད་པའི་ཆ་ཤས་སོ་སོར་རྒྱུ་བའི་དབང་ཚོར་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་ལ་ཀླད་སྨྱུག་གིས་ལམ་བར་དུ་རྟོག་ཞིབ་དང་འཚམ་སྒྲིག་བྱེད་པ་རེད། བརྡ་འཕྲིན་རྣམས་ཀླད་ཤུན་ཕྱོགས་སུ་བགྲོད་པའི་ལམ་བར་དུ་ཀླད་སྨྱུག་གིས་དེ་དག་གི་དྲག་ཚད་སྔོན་གཅོག་གཏོང་ཐུབ་པས་ཀླད་པའི་ཆ་ཤས་འདི་དམིགས་བཀར་གྱིས་གནད་ཆེ། ཀླད་སྨྱུག་གིས་བརྫངས་པའི་བརྡ་འཕྲིན་རྣམས་དྲག་ཚད་ཇི་ཙམ་མཐོ་བ་དེ་ཙམ་གྱིས་དོ་བདག་སྐྱེ་བོས་སྐུལ་རྐྱེན་དེ་རྣམས་ལ་དོ་སྣང་མང་བ་སྤྱོད་པ་རེད། གལ་ཆེ་བ་ཞིག་ལ། ཀླད་པའི་མཐོ་གྲས་རིམ་པ་ཁག་ནས་ཀླད་སྨྱུག་ལ་ཚུར་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་བའི་བྱ་གཞག་དེ་ཧ་ཅང་ཚགས་དམ་པོ་ཡོད་ཅིང་། འདི་ལ་བརྟེན་ནས་ཀླད་སྨྱུག་བརྒྱུད་དེ་བགྲོད་པའི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་ལ་ཀླད་སྨྱུག་གིས་འཚམ་སྒྲིག་བྱེད་ལུགས་ཐད་སྟངས་འཛིན་རན་འཚམས་བྱེད་པར་རམ་འདེགས་འཐོབ་ཀྱི་ཡོད། བསམ་ཚོད་ཅིག་ལ། ཀླད་ཤུན་དང་ཀླད་སྨྱུག་དབར་འདི་ལྟར་ཕར་ཚུར་འགྲུབ་པའི་གླེང་མོལ་རྒྱུད་རིམ་འདི་ཉིད་སེམས་རྩེ་གཅིག་པའི་གནས་བབ་ལ་ཧ་ཅང་གནད་ཆེན་པོ་ཡིན།

དབང་བརྡ་རྒྱུ་འཆག་བྱ་བ་འདི་ང་ཚོའི་སྐར་མ་རེ་རེའི་བྱ་གཞག་ནང་དགེ་མཚན་ཇི་ཙམ་ཆེ་ཚུལ་རྒྱུས་ལོན་འབྱུང་ཆེད་ང་ཚོས་སྔར་གྱི་ནགས་ཀླུང་ཁྲོད་ཀྱི་ལྡོངས་རྒྱུ་དེར་ཕྱིར་ལོག་བྱའོ། །ཁྱོད་ཀྱི་རྐང་པ་ཤིང་རྩར་ཐོགས་ཏེ་བརྣད་རྗེས་ཁྱོད་ཀྱི་བློ་ཁ་རྐང་སོར་ལ་ཕྱོགས་པ་རེད། སྤྱིར་ན་མ་བསྟན་པའི་གོང་དུའང་རྐང་སོར་ཐམས་ཅད་ནས་དབང་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་དེ་འདྲ་ཀླད་པར་འབྱོར་ཐུས་ཡིན་ཡང་། གནས་སྐབས་དེ་ཀུན་ཏུ་ཆ་འཕྲིན་དེ་དག་ཤེས་ཚོར་གྱི་ཡུལ་དུ་གྱུར་མེད་པ་རེད། དེ་བཞིན་དུ། ཁྱོད་ཉིད་མར་བསྡད་དེ་ཡི་གེ་ཀློག་པའི་གནས་སྐབས་སུ་ཀླད་པར་ནི་ལུས་ཀྱི་ཆ་ཐམས་ཅད་དང་། ཁོར་ཡུག་གི་ཁྱོན་ཀུན་ནས་ཆ་འཕྲིན་འབྱོར་ཐུས་ཡིན། དེ་ལྟར་ཡིན་པ་ནི་རྐུབ་སྐེགས་ངོས་སུ་རྐང་པ་རེག་པའི་ཚོར་བ་ནས་བཟུང་སྟེ་རྒྱབ་ལྗོངས་ཀྱི་སྐད་སྒྲ་ཐོས་པའི་བར་གྱི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་རང་བབ་ཏུ་འབྱུང་བཞིན་པར་གལ་ཏེ་དོ་ནན་གྱིས་བློ་ཁ་གཏད་ཡོད་ན་ཤེས་ངེས་ཡིན། ཅི་སྟེ་ང་ཚོའི་ཀླད་པར་བབས་པའི་དབང་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་ཀུན་ང་ཚོའི་ཤེས་ཚོར་གྱི་ཡུལ་དུ་གྱུར་དབང་དུ་བཏང་ན་ཅི་ཞིག་འབྱུང་བར་འགྱུར་རམ། ཁྱོད་ཀྱིས་མཉམ་འཛོག་ཅིག་གྱིས་དང་། དེས་ན་ཀླད་སྨྱུག་ཁུལ་དུ་འགྲུབ་པའི་དབང་ཚོར་གྱི་རྒྱུ་འཆག་བྱ་བ་དེས་ང་ཚོས་ཛ་དྲག་ཆེ་ཤོས་ཀྱི་ཆ་འཕྲིན་ལ་བློ་ཁ་གཏོད་ཐུབ་པར་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། དེ་ནི་དཔེར་ན་བྱིས་པའི་ངུ་སྒྲ་ཐོས་མ་ཐག་ཁྱོད་ཀྱིས་རང་གི་རྐང་སོར་གྱི་ཟུག་རྔུ་ཟད་དེ་བརྗེད་ཐུབ་པ་བྱུང་བ་ལས་ཤེས་གསལ་ཡིན།

དེས་ན་དབང་ཚོར་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱེད་སྒོ་དག་ནི་ཀླད་སྨྱུག་དང་ཀླད་ཤུན་གཞན་དག་བརྒྱུད་ཚགས་དམ་པོར་འཚམ་སྒྲིག་དང་སྟངས་འཛིན་བྱེད་པ་ནི་ཆེས་གསལ་བས། ལུས་ཚོར་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་འབྲེལ་བའི་ཀླད་ཤུན་སྟངས་འཛིན་ལྟེ་གནས་རྣམས་ཀླད་པའི་ཁྱོན་དུ་ཕན་ཚུན་ཐག་ཉེར་འཁོད་པ་འདི་ནི་ཕལ་ཆེར་སྐྱེས་དབང་གིས་བྱུང་བ་ཞིག་མིན། དབང་རྩ་ཅན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོར་འགྱུལ་སྐྱོད་དང་ལུས་ཚོར་འབྲེལ་བའི་ཀླད་ཤུན་དེ་དག་ལུས་ཀྱི་ཆ་ཤས་ཁྱོན་ཡོངས་ཀྱི་འཁོད་ལུགས་དང་མཐུན་པར་གྲུང་འགྲིགས་ནས་ཡོད་ཚུལ་བཤད་པ་འདིར་ཕྱིར་དྲན་བྱེད་འོས། (དཔེ་རིས། ༣༩) ལུས་ཚོར་ཀླད་ཤུན་ཁྱོན་དུ་བལྟས་ཚེ། ཚོར་དད་ཆེ་བའི་ལུས་ཀྱི་ཆ་ཤས་རྣམས་དང་སྦྲེལ་བའི་ཀླད་ཤུན་གྱི་ཆ་ཤས་དེ་རྒྱ་ཆེ་བ་ཡོད། དེ་བཞིན་དུ། འགྱུལ་སྐྱོད་སྤྱི་རིམ་ཀླད་ཤུན་ཁྱོན་དུ་བལྟས་ཚེ་དེར་ལུས་ཀྱི་འགྱུལ་སྐྱོད་རྩལ་ཆ་དོད་ཤོས་རིགས་འགྲུབ་པའི་ཤ་གནད་ཀྱི་ཚོགས་དག་དང་སྦྲེལ་བའི་ཀླད་ཤུན་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་ཀྱི་ཁྱོན་འཁོར་ཡང་ཆེ་ཤོས་ཡོད་པ་རེད། དེས་ན་གོང་དུ་སྒྲོམ་བུ་དྲུག་པར་བསླངས་པའི་དྲི་བ་གསུམ་པ་དེར་བསམ་སྐྱོར་ཞིག་རྒྱག་ཆེ། སྣེ་ལེན་པའི་གྲངས་འབོར་མང་ཞིང་ཚོར་དད་ཆེ་སའི་ལུས་ཀྱི་ཆ་ཤས་གང་ཡིན་པ་དེ་དག་ལ་རང་དང་སྦྲེལ་བའི་ལུས་ཚོར་ཀླད་ཤུན་གྱི་རྒྱ་ཁྱོན་ཡང་ཆེ་བ་ཡོད་པར་ང་ཚོས་ཚོད་དཔག་བྱེད་ཐུབ།

ལུས་ཀྱི་གཤིས་སྤྱོད་དང་ཀླད་ཤུན་གྱི་བྱ་གཞག་གཉིས་དབར་གྲུབ་བདེ་མཉམ་པའི་འབྲེལ་བ་དམ་པོ་ཞིག་ཡོད། མཐོང་ཚོར་ཀླད་ཤུན་གྱི་འགྱུལ་སྤྱོད་བྱ་བ་དང་ང་ཚོས་གང་ཞིག་མཐོང་བ་གཉིས་དབར་ཐད་ཀའི་འགྲིག་མཐུན་གྱི་ཆ་ཞིག་ཡོད་པ་དང་ཆེས་འདྲ་བས། འགྱུལ་སྐྱོད་ཀླད་ཤུན་གྱི་བྱ་གཞག་དང་ལུས་ཀྱི་འགྱུལ་སྐྱོད་རྣམ་པ་ངེས་བཟུང་དག་གི་དབར་ཡང་དེ་མཚུངས་ཀྱི་འགྲིག་མཐུན་གྱི་ཆ་ཞིག་ཡོད། དབང་རྩའི་བྱ་གཞག་གི་འགྲོས་རིམ་དམིགས་བཀར་བ་དེ་དག་འགྱུལ་

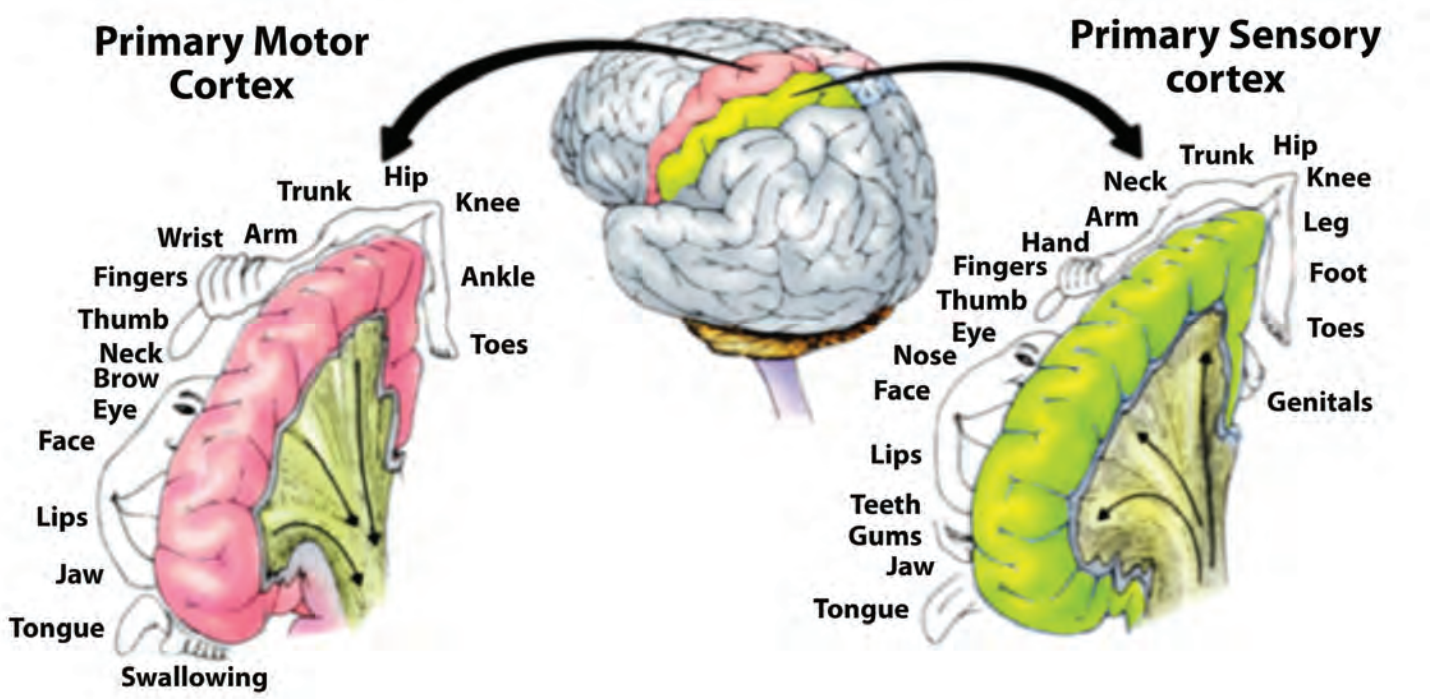
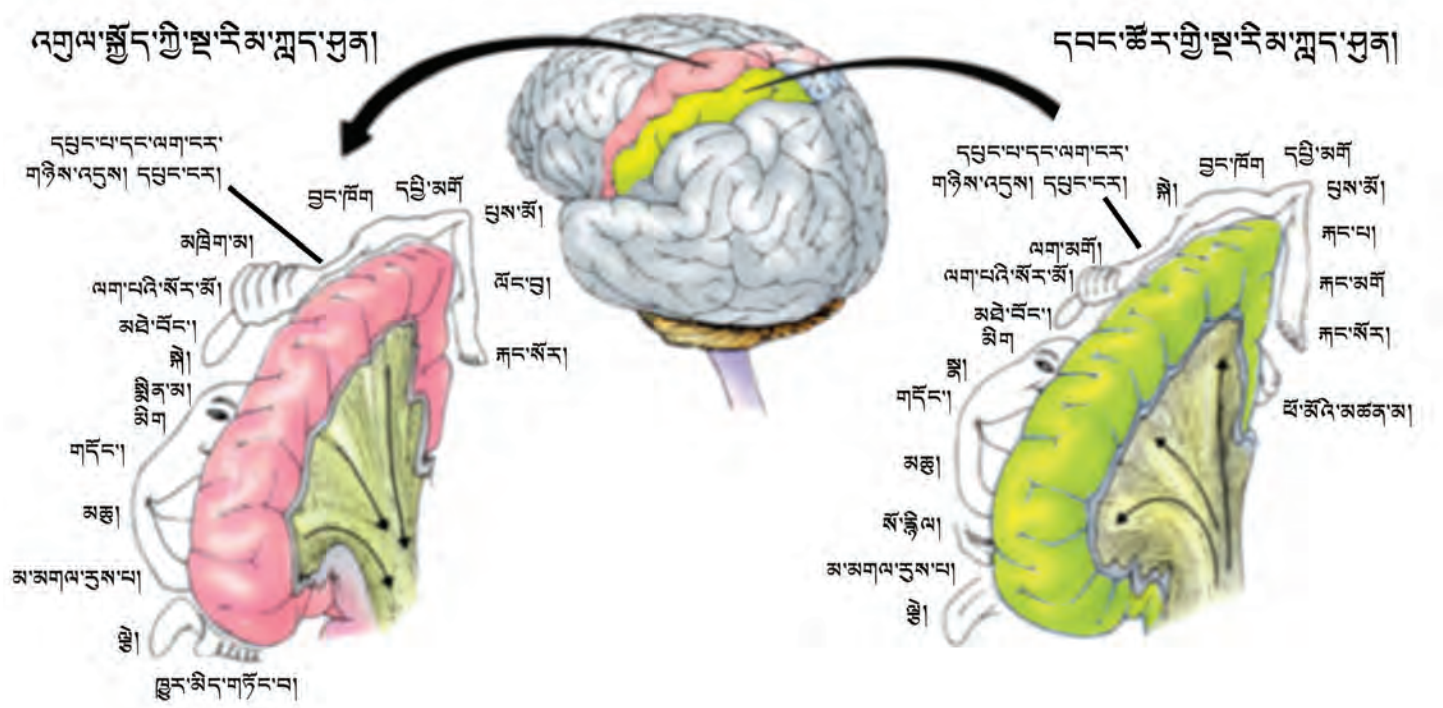


Figure 29: A representation of the connections between the body and primary motor (left) and sensory (right) cortices. The relative size of the body part drawn next to the cortex represents the number of cortical neurons that are devoted to innervating that particular body part.

There is a strong temporal association between behavior and cortical activity. Much like the direct correspondence between visual cortex activation and what we see, motor cortex activity corresponds to very specific aspects of movement. Specific patterns of neural activity correspond to the direction of movement, the force required to maintain the movement, and even the particular task in which the movement is involved. Figure 30 summarizes the neural pathways involved in conscious, directed movement. Trace through this pathway in your mind, from motor cortex to muscle fiber. Recall that earlier in the lesson we introduced motor neurons as a unique and specialized type of neuron that synapses directly onto a muscle cell. Here we see that pathway in more detail as neurons in the primary motor cortex fire action potentials that move down very long axons that synapse onto motor neurons on the spinal cord. Those motoneurons then synapse directly onto muscle cells to activate muscle contraction.

Your motor system has evolved to carry out very different types of movement; these can be broadly classified into two types that we already have discussed: (1) reflex movements that are automatic, have predictable neural patterns, and graded responses (the more stimulus, the greater the movement); (2) directed movements in response to somatosensory information about the environment that are voluntary and complex and not generally predictable; and a third type we have yet to discuss (3) centrally-programmed, patterned, rhythmic movements, which have predictable and complex neural activation patterns and are not voluntarily controlled.



དཔེ་རིས། ༢༩ ལུས་ཕུང་དང་འགུལ་སྐྱོད་སྤྱི་རིམ་ཀླད་ཤུན་(གཡོན་)དང་། ཡང་ལུས་ཕུང་དང་དབང་ཚོར་སྤྱི་རིམ་ཀླད་ཤུན་(གཡས་)སོ་སོའི་དབར་གྱི་འབྲེལ་མཐུད་ཀྱི་རྣམ་པ་མཚོན་འགྲེལ་བྱེད་པའི་དཔེ་རིས། ཀླད་ཤུན་གྱི་ཆ་ཤས་སོ་སོའི་ཐད་སོར་འཁོད་པའི་ལུས་ཕུང་གི་ལྟོས་བཅས་བོངས་ཚད་འདིས་ནི་ལུས་ཀྱི་ཆ་ཤས་བྱེ་བྲག་སོ་སོ་དང་སྦྲེལ་བའི་དབང་རྩའི་འགུལ་སྐྱོད་སྐྱོང་བར་ཀླད་ཤུན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་གྲངས་ཇི་ཙམ་ཞིག་མཁོ་མིན་གྱི་གནས་སྟངས་དེ་མཚོན་གྱི་ཡོད།

སྐྱོད་ཀྱི་ཁ་ཕྱོགས་དང་། འགུལ་སྐྱོད་རྒྱུན་འཁྱོངས་ལ་མཁོ་བའི་འགུལ་ཤུགས་དང་། ཐན་འགུལ་སྐྱོད་དེ་ཉིད་གང་དང་འབྲེལ་བའི་ལས་དོན་ངེས་བཟུང་གང་ཡིན་དེ་དག་དང་ཆེས་འབྲེལ་ཆགས་སུ་གྲུབ་ཡོད། དཔེ་རིས་ ༣༠ འདིས་ཆེད་གཏད་ཀྱིས་ཤེས་ཚོར་ལྡན་པའི་སྒོ་ནས་འགྲུབ་པའི་འགུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་དང་སྦྲེལ་བའི་དབང་རྩའི་བརྒྱུད་ལམ་གྱི་གནས་ལུགས་བསྡུས་ཏེ་སྟོན་གྱི་ཡོད། འགུལ་སྐྱོད་ཀླད་ཤུན་ནས་ཤ་གནད་ཐག་རན་བར་གྱི་བརྒྱུད་ལམ་དེར་འདིར་ཁྱོད་ཀྱིས་སེམས་ནང་རྗེས་འདེད་ཅིག་བྱིས་དང་། ཡང་གོང་དུ་ལེ་ཚན་འདིའི་ནང་ང་ཚོས་འགུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་འདི་དག་ཤ་གནད་ཕྲ་ཕུང་ཞིག་ལ་ཐད་ཀར་མཐུད་མཚམས་སྦྱོར་བའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཟུར་བསལ་ཞིག་དང་རིགས་དམིགས་བཀར་བ་ཞིག་ཡིན་པར་ངོ་སྤྲོད་བྱས་པར་ཡང་ཕྱིར་དྲན་ཞིག་བྱོས། འདིར་ང་ཚོས་བརྒྱུད་ལམ་དེ་ཙུང་ཟད་ཞིབ་ཕྲར་མཐོང་ཐུབ་ཅིང་། འགུལ་སྐྱོད་ཀྱི་སྤྱི་རིམ་ཀླད་ཤུན་ཁུལ་གྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གིས་འཕངས་པའི་ལས་འཛུག་ནུས་པ་དེ་དག་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་ཆེས་རིང་མོའི་རྒྱུད་དུ་བགྲོད་ནས་མཐར་རྒྱུངས་པའི་སྟེང་གི་འགུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་ལ་མཐུད་མཚམས་སྦྱོར་ཚུལ་ཡང་མཐོང་ཐུབ། འགུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་དག་གིས་ད་གཟོད་ཤ་གནད་ཕྲ་ཕུང་དག་ལ་ཐད་ཀར་མཐུད་མཚམས་སྦྱར་ཏེ་ཤ་གནད་འཁུམ་བསྡུའི་བྱ་བ་སློང་གི་ཡོད།

ང་ཚོ་མིའི་འགུལ་སྐྱོད་མ་ལག་དེ་ཉིད་འཕེལ་འགྱུར་རིམ་གྱིས་བརྒྱུད་པ་ལས་ད་ཆ་འགུལ་སྐྱོད་ཀྱི་རིགས་མི་འདྲ་བ་སྣ་ཚོགས་ཤིག་འགྲུབ་ནུས་པར་གྱུར་ཡོད་ལ། འདི་དག་ལ་རགས་རིམ་གྱི་དབང་དུ་བྱས་ན་ཁྱོད་ཀྱིས་སྨྲངས་ཟིན་པའི་རིགས་གཉིས་ཏེ། ༡༽ ལྡོག་འགུལ་ཞེས་པ་འདུ་ཤེས་ལ་མི་བརྟེན་པའི་རང་འགུལ་གྱི་རིགས་ཏེ། གང་ཞིག་གི་དབང་རྩའི་འགྲོས་རིམ་རྣམས་སྔོན་ཚུད་ནས་ཚོད་དཔག་བྱུར་ཡོད་ཅིང་། གང་དག་ལ་བང་རིམ་ལྡན་པའི་ཡ་ལན་ཐོག་པའི་(སྐུལ་རྐྱེན་ཇི་ཙམ་མང་བ་དེ་ཙམ་གྱིས་འགུལ་སྐྱོད་མང་བ་འབྱུང་བ་)རིགས་དེ་དང་། ༢༽ ཁོར་ཡུག་དང་འབྲེལ་བའི་ལུས་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་དག་ལ་ཚུར་སྣང་གི་ཚུལ་དུ་བསླབ་པའི་ཆེད་གཏད་ཀྱི་འགུལ་སྐྱོད་ཀྱི་རིགས་ཏེ། གང་ཞིག་འདུ་ཤེས་དང་བཅས་ཏེ་བསླབ་ཅིང་རྟོག་འཛིང་གི་རང་བཞིན་ལྡན་ལ། གང་དག་གི་དབང་རྩའི་འགྲོས་རིམ་རྣམས་སྔོན་དཔག་བྱ་དཀའ་བ་ཡིན་པའི་རིགས་བཅས་ཡིན། ཡང་ཁྱོད་ཀྱིས་སྨྲངས་མ་ཟིན་པའི་རིགས་གསུམ་པ་ཞིག་ཡོད་དེ། ༣༽ དབང་རྩ་ལྟེ་བའི་མ་ལག་གིས་བཀོད་འདོམས་བྱས་ཤིང་། འགྲོས་རིམ་ངེས་པ་ཅན་ཡིན་པའི་ཁར། འབབ་རིམ་ལྡན་པ་ཡིན་པའི་འགུལ་སྐྱོད་ཀྱི་རིགས་ཤིག་སྟེ། རིགས་འདི་དང་སྦྲེལ་བའི་དབང་རྩའི་འགུལ་སྐྱོད་འགྲོས་རིམ་རྣམས་རྟོག་འཛིང་ཆེ་ལ་སྔོན་དཔག་རྡུང་བ་དེ་འདྲ་ཡིན། འོན་ཀྱང་འགུལ་སྐྱོད་འདི་དག་ནི་དོ་བདག་སྐྱེ་བོས་ཤེས་ཚོར་དང་བཅས་པའི་སྒོ་ནས་ཚོད་འཛིན་མི་བྱེད་པ་ཡིན་ནོ།།

As we have said, what happens when you are in the woods and trip and catch yourself is called a reflex movement (type 1 above). When you hear the boy cry and move to help him, that's directed somatosensory integration and response (type 2). On the other hand, your walking and breathing, swallowing and heartbeat are regular, automatic rhythmic patterns controlled by what are called central pattern generators (type 3).

Unlike all the other neurons and neuron systems we've discussed, central pattern generators are neural networks that produce regular rhythmic neural outputs on their own, without the requirement for input from any external source. Central pattern generators can even create their pattern of neural outputs when they are entirely isolated from the rest of the brain!

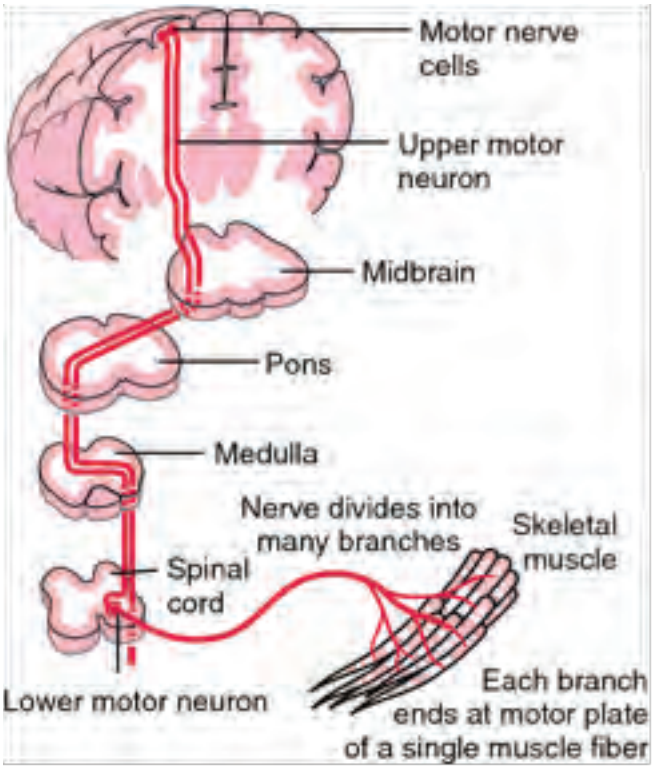


Figure 30: The pathway of a motor neuron: the axon extends from the primary motor cortex, through the midbrain and spinal cord, and then synapses directly onto a skeletal muscle.

Central pattern generators consist of sets of neurons that are connected to each other such that they can create regular rhythmic firing patterns (see Figure 31). In fact, in some cases only 2 neurons are sufficient to create such a pattern. These neurons inhibit each other so that only one can fire at a given time. After a period of activity one of the neurons 'tires' and the other one takes over the rhythm. Importantly, many of these regular rhythmic activities are

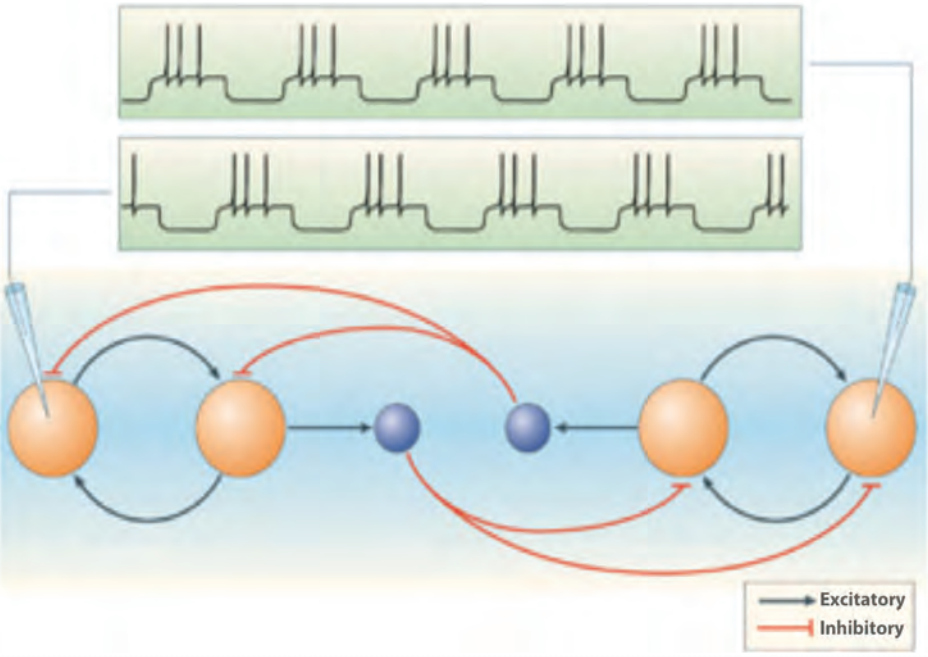
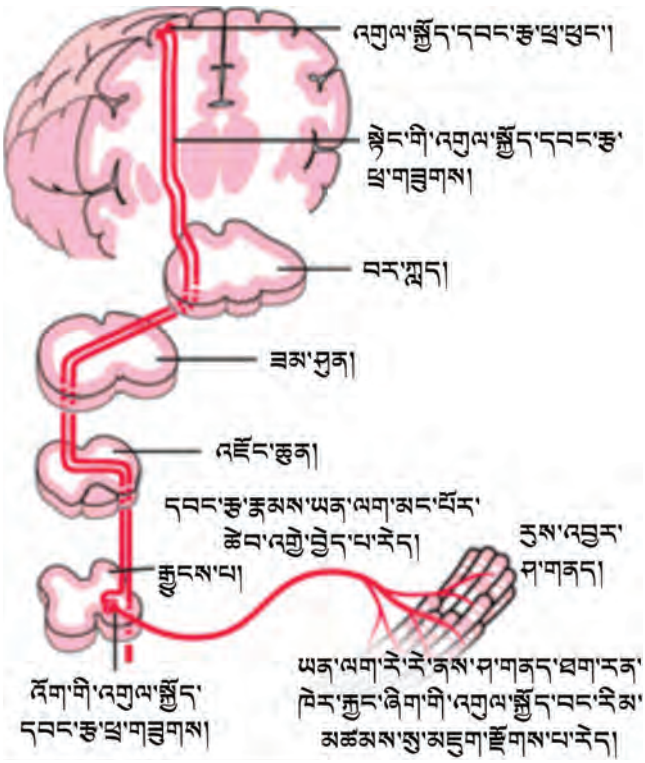


Figure 31: Rhythmic neural activity (above) recorded from neurons that are part of a central pattern generator

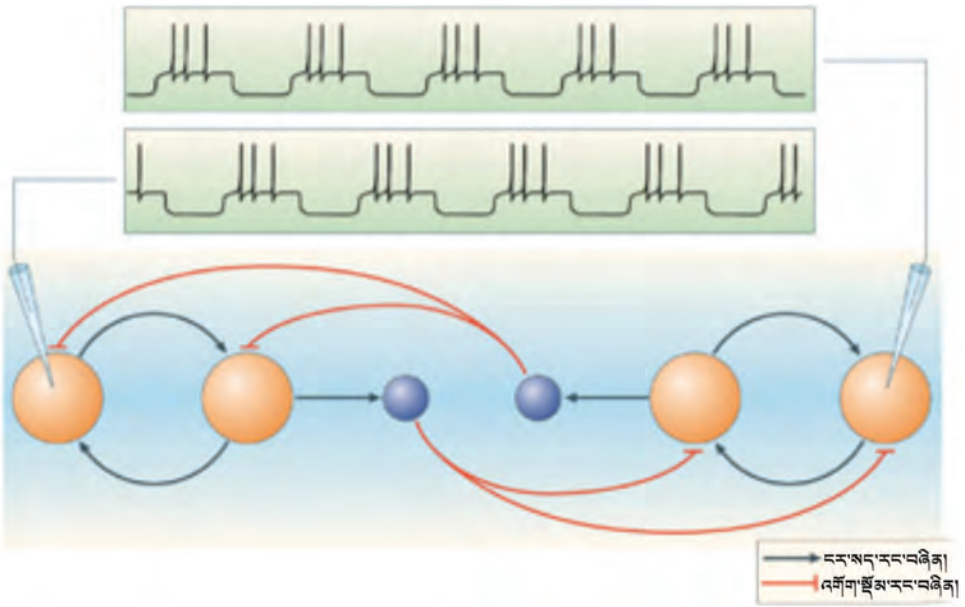


དཔེ་རིས། ༢༠ འགྲུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཐུན་གཟུགས་ཤེགས་གི་བརྒྱུད་ལམ། བརྩེ་སྤེལ་རྩ་ཐེན་དེ་འགྲུལ་སྐྱོད་སྤ་རིམ་གྱང་ཤུད་ཤུན་ནས་འགོ་བརྩམས་ཏེ་བར་གྱང་དང་རྒྱུངས་པ་བརྒྱུད་ནས་མཐར་རྣུས་འབྱུང་ཤ་གནད་ཤེགས་ཚ་ཐུང་མཚམས་སྐྱོར་བའི་བར་དུ་ནང་ནང་པོར་གྲགས་ཡོད།

ང་ཚོས་གོང་དུ་བཤད་པ་བཞིན། ཁྱོད་ཉིད་ནགས་གྱང་ཁྲིད་རྒྱ་བཞིན་དུ་ཤུང་འཛེད་ཤོར་ཅ་ན་དེ་མ་ཉིད་དུ་རང་སྣང་བྱེད་པ་ལྟ་བུ་ནི་སྤོག་འགུལ་(འགུལ་སྐྱོད་རིགས་དང་པོ་)ཀྱི་རྣམ་པ་ཡིན་ལ། ནམ་ཞེག་ཁྱོད་ཀྱིས་ཁྱེད་རང་སྐྱེས་པའི་ཐུན་ཚེ་ནས་བྱོགས་པ་ནི་ཆེད་གཏོད་ལུས་ཚོར་འགུལ་སྐྱོད་སྤེལ་བའི་ཡ་ལན་ཀྱི་རྣམ་པ་ཡིན་(འགུལ་སྐྱོད་རིགས་གཉིས་པ་)། དེ་ལས་སྤོག་སྟེ། ཁྱོད་ཉིད་བཞུད་ཀྱིན་དུ་གོས་པ་སྤོ་བ་དང་། དབུགས་གཏོང་ལེན་བྱེད་པ། མཆེལ་མ་མིད་པ། སྐྱེར་ཤ་འཕར་ཕྱིང་བྱེད་པ་དག་ནི་ཀྱིག་ཆགས་པ་དང་། རང་འགུལ་ཀྱིས་འབྱུང་བ། འབབ་རིམ་ལྟབ་བའི་འགྲོས་རིམ་ཀྱི་རིགས་ཡིན། རིགས་འདི་ནི་དབང་རྩ་ཁེ་བའི་མ་ལག་གི་ཚར་གཏོ་གྲགས་པའི་འགྲོས་རིམ་སྤོང་ཅ་དུ་འབོད་པ་དག་གིས་ཚོད་འཛིན་བྱེད་པ་ཡིན་ལགས་(འགུལ་སྐྱོད་རིགས་གསུམ་པ་)།

གོང་དུ་ང་ཚོས་ཁྱོས་སྤྱང་བྱས་པའི་དབང་རྩ་ཐུན་གཟུགས་དང་དབང་རྩ་ཐུན་གཟུགས་ཀྱི་མ་ལག་གཞན་དག་དང་མི་འདྲ་བར་མ་ལག་ལྟེ་བ་དང་སྤྱེལ་བའི་འགྲོས་རིམ་སྤོང་བྱེད་དག་ནི་ཁྱིའི་འབྲུང་ཁྲངས་ཤེགས་ནང་དུ་དྲངས་པའི་རྒྱུ་ཚའི་རིགས་སོན་པ་ལ་རག་མ་ལས་པར་རང་ཁོངས་ནས་འབབ་རིམ་ཤུན་པའི་དབང་རྩེའི་དྲ་ཚོགས་རེ་འཛུ་རེད། གལ་ཏེ་མ་ལག་ལྟེ་བ་དང་སྤྱེལ་བའི་འགྲོས་རིམ་སྤོང་བྱེད་དག་གླང་པ་ཁྱིངས་ནས་ནད་དེ་ལོགས་སུ་བཏོན་ནས་དུ་དུང་དེ་དག་གིས་དབང་རྩེའི་ཐོན་འབྲས་ཀྱི་འགྲོས་རིམ་དེ་རིགས་བསྒྲན་ཐུབ་ཀྱི་ཡོད།

མ་ལག་ལྟེ་བ་དང་སྤྱེལ་བའི་འགྲོས་རིམ་སྤོང་ཁྱེད་དག་གི་ཁྲིད་དུ་ཁན་ཚུན་སྤྱེལ་ནས་འགྲོད་པའི་དབང་རྩ་ཐུན་གཟུགས་ཀྱི་ཚན་པ་དུ་མ་ཡོད་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་དེ་དག་གིས་འབབ་རིམ་ལྟབ་བའི་འཛེའ་རྒྱུད་ཀྱི་ཐུན་ཚུན་སུ་སྐྱེད་སྐྱན་ཀྱུ་མ་ཡོད།(དཔེ་རིས། ༢༡ ལ་སྟོངས།) དངོས་འབྲེལ་བྱས་ན་གནས་སྐབས་རེ་འཁར་འགྲོས་རིམ་དེ་འབྲ་ཞིག་བསྐྱན་པར་དབང་རྩ་ཐུན་གཟུགས་གཉིས་ཀ་ཚོར་ཞིང་ཤེས་པ་ཡིན། དབང་རྩ་ཐུན་གཟུགས་འདི་དག་པས་ཁན་ཚུན་འགྲོག་སྟོམ་བྱེད་པ་ལ་བརྟེན་ནས་དུས་གཅིག་ལ་དེ་དག་གི་ཁོངས་ནས་གཅིག་ཁོ་ནས་(ལས་འདྲུག་ཤུས་པ་)འབེན་ཐུབ་པ་རེད། དེ་ནི་འགུལ་སྐྱོད་ཀྱི་དུས་མཚམས་ཤེགས་གི་མཐུག་ཏུ་དབང་རྩ་ཐུན་གཟུགས་གཅིག་''བཤད་པ་ནི་''གཞན་དེས་འགན་ཟླངས་ཏེ་འབབ་རིམ་ཀྱི་རྒྱུན་མཐུག་པར་བྱེད་པ་རེད། གལ་ཆེ་ན་ཞེགས་ལ་འདི་ལྟར་དུ་འགྲུབ་པའི་འབབ་རིམ་སྤྱན་པའི་འགུལ་སྐྱོད་རྒྱུན་



དཔེ་རིས། ༢༡ (རྒྱུངས་པའི་ནང་གི་)མ་ལག་ལྟེ་བ་དང་སྤྱེལ་བའི་འགྲོས་རིམ་སྤོང་བྱེད་ཞེགས་ཤ་ལ་པར་ཟླངས་པའི་དབང་རྩ་ཐུན་གཟུགས་རྣམས་ལ་པར་ཟླངས་པའི་དབང་རྩའི་འབབ་རིམ་ཀྱི་འགུལ་སྐྱོད་རྣམ་པ།(སྟེང་སྤྱོགས།)

very responsive to environmental changes; that is, the rhythm can be reset or adapted if the environment changes. For example, scientists have shown that the central pattern generator responsible for a cat's walking increases its rhythm when the cat starts walking faster in response to signals from proprioceptive and touch receptors in the cat's legs. Similarly, if a cat sees something ahead that will cause it to alter its walking rhythm, those visual inputs have also been shown to activate its motor cortex to alter its walking pattern generator's rhythm, which itself is located in the spinal cord.

MOTOR PLANNING

Prior to action, you actually—unconsciously and very quickly—think about what you're going to do and plan out your movements before you do them. This can be thought of as feedforward regulation, because you are projecting what you'll do next. We know that many cortical association areas (recall the definition of these areas from our vision discussion in *Neurosciences I*) send signals to the primary motor cortex – many are from premotor and supplementary motor areas involved in motor planning. These regions are located just in front of the primary motor cortex (Figure 32). Motor association areas also receive information from higher cortical areas like those associated with language. As you might imagine, the motor planning areas like the primary motor cortex are organized similarly to the somatosensory cortex in that it also has a somatotopic representation of limb and muscle groups (see NS primer I).

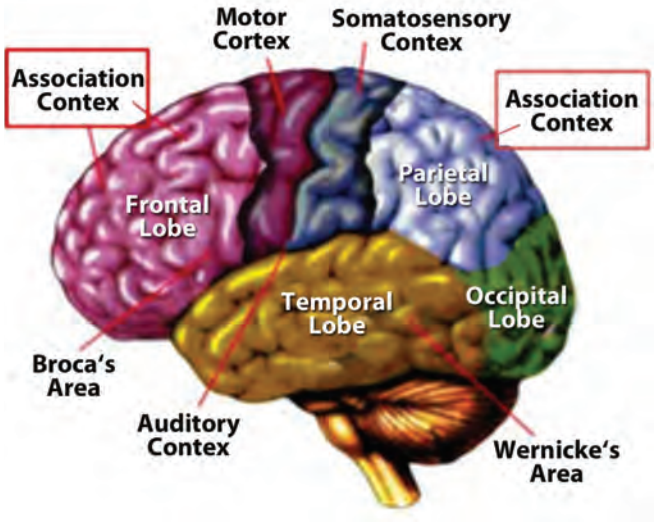
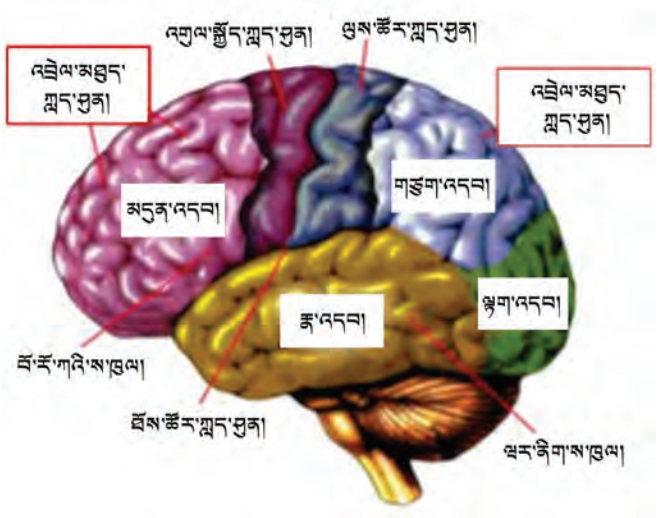


Figure 32: Association cortex located anterior to motor and sensory cortex is the site for premotor and supplementary motor areas important for motor planning

Directed movements like those you make in deciding to walk through the woods in the first place, or those you decide to do upon hearing the crying boy—leaning over and picking him up-involve many levels of control beyond simply carrying out the action. Given the fact that movement is absolutely crucial to all our behaviors and actions—from walking to breathing to loving—you should not be the least surprised that the amount of regulation, modulation, and control put into our movements is complex, vast, and diverse.

ཆགས་འདི་རྣམས་ཁོར་ཡུག་གི་འགྱུར་བ་དག་དང་ཧ་ཅང་འཁྲིག་པོ་དང་མཐུན་པོ་ཡོད། དེ་ནི་ཁོར་ཡུག་གི་འགྱུར་བ་ལ་གཞིགས་ཏེ་འབབ་རིམ་དེ་དག་བསྒྱུར་སྒྲིག་གམ། ཡང་ན་འཚམ་སྒྲིག་བྱེད་ཐུབ་པ་ལ་ཟེར། དཔེར་ན། ཞི་མིའི་ཀྲང་བའི་ཁུལ་གྱི་བབས་འགྱུར་སྣེ་ལེན་པ་དང་རེག་ཚོར་སྣེ་ལེན་པ་དག་ནས་འབྱོར་བའི་བརྡ་འཕྲིན་དག་ལ་ཡ་ལན་གྱི་ཚུལ་དུ་ཞི་མི་དེས་མགྱོགས་པར་བགྲོད་པའི་འགོ་རྩོམ་པ་ན་ཞི་མིའི་གོམ་བགྲོད་བྱ་བར་འགན་འཁུར་བའི་མ་ལག་ལྟེ་བ་དང་སྦྲེལ་བའི་འགྲོས་རིམ་སློང་བྱེད་དེས་རང་གི་འབབ་རིམ་རྒྱུ་བ་གོང་མཐོར་གཏོང་བ་ཚན་རིག་པ་རྣམས་ཀྱིས་གསལ་སྟོན་བྱས་ཡོད། དེ་བཞིན་དུ། གལ་ཏེ་ཞི་མིས་རང་གི་གོམ་བགྲོད་འབབ་རིམ་དུ་འཇུག་པར་འགལ་རྐྱེན་ཞིག་རང་གི་མདུན་དུ་མཐོང་བ་ན། དེ་ལྟའི་མཐོང་འགྱུར་སྣང་བ་དག་གིས་ཀྱང་ཞི་མི་དེའི་འགྱུལ་སྐྱོད་ཀླད་ཤུན་སད་སློང་བྱས་ཏེ་དེའི་རྒྱུངས་པར་འཁོད་པའི་གོམ་བགྲོད་འགྲོས་རིམ་སློང་བྱེད་དེའི་འབབ་རིམ་གྱི་གཤིས་ཀ་ལ་འགྱུར་བ་གཏོང་དུ་འཇུག་གི་ཡོད།

འགུལ་སྐྱོད་འཆར་འགོད་བྱེད་ཚུལ།



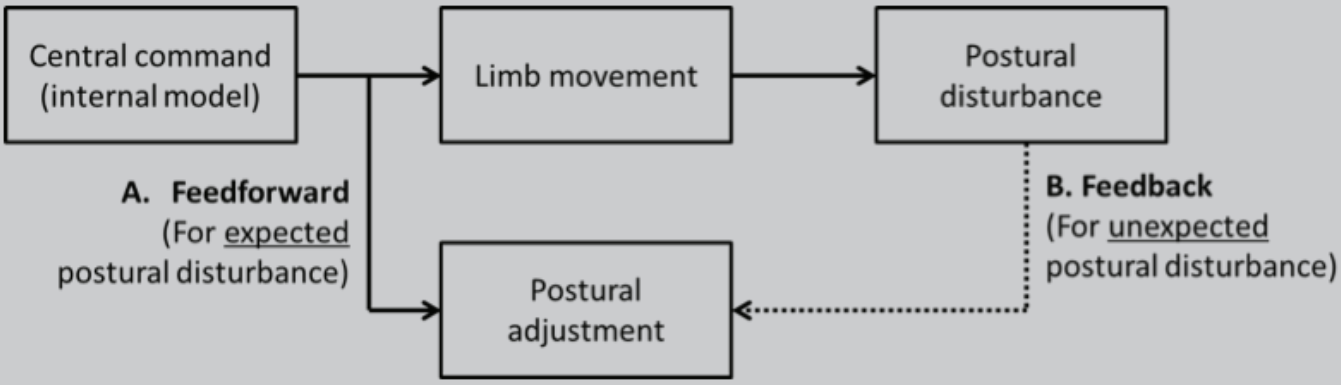
དཔེ་རིས། ༣༢ འགྱུལ་སྐྱོད་ཀླད་ཤུན་དང་དབང་ཚོར་ཀླད་ཤུན་བཅས་ཀྱི་མདུན་དུ་ཆགས་པའི་འབྲེལ་མཐུད་ཀླད་ཤུན་དག་ནི་འགྱུལ་སྐྱོད་འཆར་འགོད་བྱ་བར་གནད་ཆེ་བའི་འགྱུལ་སྐྱོད་སྔོན་བསུ་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་རམ་འདེགས་ས་ཁུལ་རྣམས་ཆགས་ས་དེ་རེད།

དོན་དངོས་ཐོག་ཁྱོད་ཀྱིས་ལས་ཤིག་ལ་མ་ཞུགས་གོང་དེར་ནི་གང་དུ་ཞུགས་རྒྱུའི་ལས་དེའི་སྐོར་ཁྱོད་ཀྱིས་བསམ་གཞིག་བྱེད་པ་དང་། དེ་འབྲེལ་གྱི་འགྱུལ་སྐྱོད་རིགས་ལ་འཆར་འགོད་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། དེ་ཡང་ཁྱོད་ཀྱིས་མ་ཤེས་ཤིང་མ་ཚོར་བཞིན་དུ་མགྱོགས་མྱུར་སྒྲོས་འགྲུབ་པ་རེད། འདི་ནི་མདུན་གསོ་བཀོད་སྒྲིག་བྱ་བའི་ངོ་བོར་བལྟས་ན་ཚོག་སྟེ། དུས་གཉིས་པར་གང་བསྒྲུབ་རྒྱུའི་བྱ་བ་དེར་ཁྱོད་ཀྱིས་དོ་སྣང་ནས་མཉམ་འཛོམ་བྱེད་པའི་ཕྱིར། ང་ཚོས་ཤེས་གསལ་བཞིན། ཀླད་ཤུན་གྱི་འབྲེལ་མཐུད་ས་ཁུལ་(དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོའི་ནང་མཐོང་ཚོར་འབྲེལ་བའི་གྲོས་སྡུར་སྐབས་འབྲེལ་མཐུད་ས་ཁུལ་གྱི་ངོས་འཛིན་ཇི་ལྟར་བྱས་པ་འདིར་དྲན་དགོས་)དག་ནས་ཀླད་ཤུན་གྱི་སྔ་རིམ་འགྱུལ་སྐྱོད་ས་ཁུལ་ཕྱོགས་སུ་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་ལ། དེ་དག་ལས་མང་པོ་ཞིག་འགྱུལ་སྐྱོད་འཆར་འགོད་དང་འབྲེལ་བའི་འགྱུལ་སྐྱོད་སྔོན་བསུའི་ས་ཁུལ་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་རམ་འདེགས་ས་ཁུལ་གྱི་གྲས་རེད། ས་ཁུལ་འདི་དག་ནི་འགྱུལ་སྐྱོད་སྔ་རིམ་ཀླད་ཤུན་གྱི་མདུན་ཉིད་དུ་ཆགས་ཡོད།(དཔེ་རིས། ༣༢) འགྱུལ་སྐྱོད་འབྲེལ་མཐུད་ས་ཁུལ་རྣམས་ལ་སྣད་བརྡ་དང་འབྲེལ་བའི་མཐོ་གྲས་ཀླད་ཤུན་ས་ཁུལ་དག་ནས་ཀྱང་ཆ་འཕྲིན་འབྱོར་བ་རེད། ཁྱོད་ཀྱིས་ཚོད་དཔག་བྱེད་སྲིད་པ་བཞིན་འགྱུལ་སྐྱོད་སྔ་རིམ་ཀླད་ཤུན་ལྟ་བུའི་འགྱུལ་སྐྱོད་འཆར་འགོད་བྱེད་སའི་ཆ་ཁུལ་དེ་དག་གི་ཆགས་ལུགས་ཀྱང་ལུས་ཚོར་ཀླད་ཤུན་དང་ཆ་མཚུངས་ཡིན་ཏེ། དེ་དག་ཏུའང་ལུས་ཀྱི་ཤ་གནད་སྟེ་ཚོགས་ཁག་དང་རྐང་ལག་བཅས་ཀྱི་ཆགས་ལུགས་དང་འགྲོས་མཐུན་པར་འཁོད་པའི་ཀླད་པའི་སྙིང་གི་དབང་ཚོར་མཚོན་རྣམ་དེ་འདྲ་གསལ་ཡོད་པ་རེད། (དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོར་ལྟོས།)

ཁྱོད་ཉིད་ཐོག་མར་ནགས་ཀླུང་དེའི་ཁྲོད་དུ་གོམ་ཁ་སྤོ་རྒྱུར་ཐག་བཅད་པ་ལས་ཐོན་པའི་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་ལྟ་བུའམ། ཡང་ན་ངུད་མོ་བྱེད་བཞིན་པའི་བྱིས་པའི་ངུ་སྒྲ་ཐོས་པའི་དབང་གིས་ཐག་བཅད་པའི་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་དཔེར་ན་བྱིས་པའི་སྟེང་དུ་མར་སྒྱུར་ཞིང་པང་པར་བླང་སྟབས་བྱེད་པ་ལྟ་བུའི་དམིགས་འཛུགས་འགྱུལ་སྐྱོད་འདི་དག་ལ་སྐབས་འབྲེལ་གྱི་བྱ་གཞག་སྒྲུབ་རྒྱུ་ཙམ་མ་ཡིན་པར། དེ་ལས་བརྒལ་ཏེ་ཚོད་འཛིན་གྱི་བང་རིམ་དུ་མའང་སྦྲེལ་ཡོད། གོམ་འགྲོས་རྒྱག་པ་དང་། དབུགས་གཏོང་ལེན་བྱེད་པ་ནས་བརྩིས་ཏེ་གཞན་ལ་གཅེས་སྐྱོང་བྱེད་པའི་བར་གྱི་ང་ཚོའི་གཤིས་སྤྱོད་དང་བྱ་གཞག་ཀུན་ལ་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་ནི་གོར་མ་ཆག་པར་ཧ་ཅང་གནད་ཆེ་ལུགས་དེ་ཁྱོད་ཀྱིས་ཤེས་པའི་སྐང་འདིར། ང་ཚོས་བསྒྲུབ་པའི་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་དང་སྦྲེལ་བའི་སྟངས་འཛིན་དང་། འཚམ་སྒྲིག་དང་། ཚོད་འཛིན་གྱི་བྱེད་རིམ་རྣམས་རྟོག་འཛིན་ཆེ་ལུགས་དང་། གཞི་རྒྱ་ཆེ་ལུགས། རྣམ་གྲངས་མང་ལུགས་བཅས་ཤེས་པས་ཁྱོད་ཉིད་ཙུང་ཟད་ཀྱང་ངོ་མཚར་སྐྱེ་དོན་མེད།

Box 9. IN DEPTH: FEEDFORWARD SYSTEMS

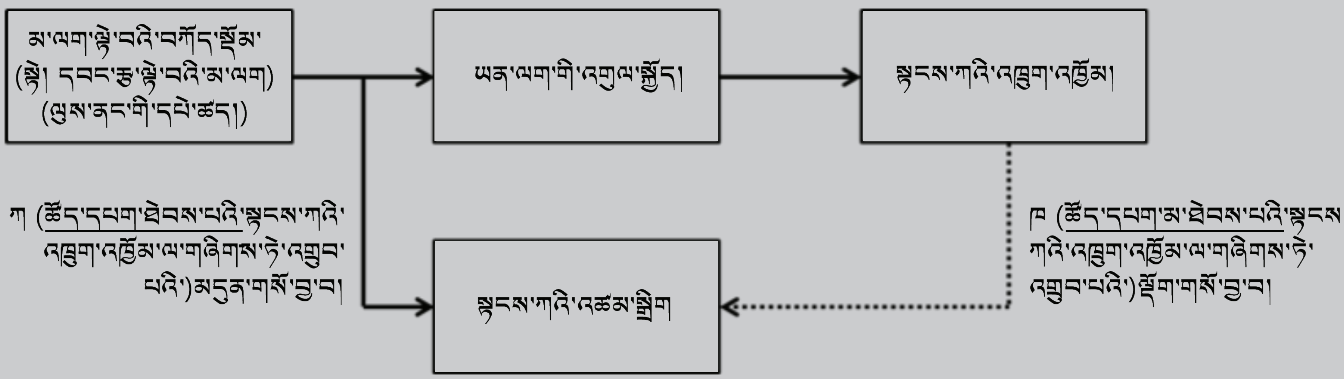
In a feedforward system (A.), action occurs without the online use of output from the action itself. Because the system does not rely on output from the action (i.e. feedback), it is thought to require an internal model for accuracy. As you will soon see, the cerebellum is a region of the brain that is crucial for feedforward control. Contrast this with a feedback system (B.), which involves modifications based on information that loops back to guide future actions. The benefit of a feedforward system is speed, since there is no delay for feedback of information. However, it likely does not allow for the correction of errors, and thus, accuracy, that can occur with a feedback system. As you might imagine, the optimal situation is one in which feedforward and feedback occurs in concert.



One example of this is the way your body moves during exercise. It uses a feedforward system in preparation for a dynamic action, changing the activity of postural muscles in order to ready the body for the movement when it occurs. For example, in preparation for a lateral arm movement that will shift your center-of-gravity, your postural musculature makes compensations to allow you to maintain your balance. It does this quickly, without incorporating any feedback somatosensory information. However, if your foot strikes on uneven ground, sensory information feeds back into the system to allow your muscles to adapt to this unexpected change.

སྒྲོམ་བུ་དགུ་པ། གཉིད་ཚུགས་པའི་ལྷ་ཞིབ། མདུན་གསོ་མ་ལག

མདུན་གསོ་མ་ལག་(ཀ)ཅིག་གི་ནང་སྐབས་འབྲེལ་གྱི་བྱ་བའི་ཐོན་འབྲས་གང་ཡིན་པ་དེར་ཐད་ཀར་སྦྱོད་སྒོར་མ་བསྟེན་པར་རང་གི་སྐབས་འབྲེལ་བྱ་བ་དེ་འགྱུར་ཀྱི་ཡོད། དེས་ན་མ་ལག་དེར་སྐབས་འབྲེལ་གྱི་བྱ་བ་དེ་ཉིད་ལས་ཐོབ་པའི་ཐོན་འབྲས་(ཏེ་བྱ་བ་དེ་ཉིད་ལ་ལྡོག་སྟེ་གསོ་བ་)ལ་མི་བསྟེ་བར་བརྟེན། བྱ་བ་དེ་ཚུལ་མཐུན་དུ་འགྲུབ་པར་ལུས་ཕུང་ནང་གི་དཔེ་ཚད་ཅིག་ལ་ངེས་པར་བརྟེན་དགོས་པར་འདོད་པ་རེད། དཔྱོད་ཁྱོད་ཀྱིས་གང་སྐྱུར་མཐོང་རྒྱུ་བཞིན་མདུན་གསོའི་ཚོད་འཛིན་བྱ་བ་འདིར་གནད་ཆེ་བའི་ཀླད་པའི་ཆ་ཁྱལ་དེ་ཀླད་སྙིང་རེད། མ་ལག་དེ་དང་དེའི་ཟློག་ཟླར་གྱུར་པའི་མ་ལག་སྟེ། (ཁ)ལྡོག་གསོ་མ་ལག་གཉིས་ཀྱི་ཁྱད་པར་ནི་འདི་ལྟར་ཏེ། ལྡོག་གསོ་མ་ལག་གི་ནང་གང་ཕྱིར་ལོག་བྱས་པའི་ཆ་འཕྲིན་དེ་འདྲ་གཞིར་བྱས་ནས་བསྒྱངས་པའི་འགྱུར་ཐབས་དག་ལ་བརྟེན་ནས་འབྱུང་འགྱུར་གྱི་བྱ་འགུལ་ལ་རྒྱུས་སྟོན་བྱེད་པ་རེད། མདུན་གསོ་མ་ལག་འདིར་ཆ་འཕྲིན་ཕྱིར་ལོག་འབྱུང་བར་འགོར་ཐོགས་མེད་པར་བརྟེན་མ་ལག་འདིའི་སྒོས་ཀྱི་ཆེ་བ་ནི་དེའི་མྱུར་འགྲོས་དེ་རེད། དེ་ལྟར་ནའང་ལྡོག་གསོ་མ་ལག་དང་མི་འདྲ་བ་ཞིག་ལ་འདིས་འབྲེལ་ཡོད་ནོངས་པ་རྣམས་ལ་དག་བཅོས་བྱེད་པའི་གོ་སྐབས་མི་འབྱིན་པ་སྲིད་པས། མ་ལག་འདི་དང་འབྲེལ་བའི་བྱ་གཞག་རྣམས་ཀྱང་འཁྲུག་མེད་ཏག་ཏག་ཅིག་ཏུ་འགྲུབ་པའི་ཡིད་བརྟན་བྱ་མི་རིགས། དེས་ན་ཁྱོད་ལ་འང་མཚོ་བསམ་འཁོར་སྲིད་པ་བཞིན། མདུན་གསོ་དང་ལྡོག་གསོའི་མ་ལག་འདི་གཉིས་ཕན་ཚུན་ཟུང་འབྲེལ་དང་བྱ་གཞག་འགྲུབ་པ་ནི་གནས་བབ་ལེགས་ཤོས་སུ་འགྱུར་ངེས་རེད།



ལུས་རྩལ་བྱེད་སྐབས་ང་ཚོའི་ལུས་ཕུང་གི་འགུལ་སྐྱོད་གཏོང་ལུགས་དེ་འདིའི་དཔེ་མཚོན་གཅིག་ཡིན། ང་ཚོའི་ལུས་ཕུང་གིས་གསོན་ཤུགས་ལྡན་པའི་འགུལ་སྐྱོད་རིགས་འགྲུབ་པའི་སྐབས་ཏེ། ལུས་ཀྱི་འགུལ་སྐྱོད་དེ་འདྲ་འགྲུབ་པའི་སྐབས་ལུས་པོ་ཨང་གསར་ལ་སྒྱུར་བའི་ཆེད་སྣང་ས་སྣབས་ཤ་གནད་དག་གི་བྱ་འགུལ་ལ་འགྱུར་ཐབས་སློང་བར་མདུན་གསོ་མ་ལག་ཅིག་བེད་སྤྱོད་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། དཔེར་ན། ཁྱོད་ཀྱི་འཐེན་ཤུགས་ལྟེ་གནས་ལ་འཕོ་འགྱུར་གཏོང་ཐུབ་པའི་དཔུང་རང་གི་གཞོགས་ཟུར་འགུལ་སྐྱོད་གཏོང་བར་ཞུགས་པའི་གྲ་སྒྲིག་ཏུ་ཁྱོད་ཀྱི་སྣང་ས་སྣབས་ཤ་གནད་མ་ལག་གིས་ཁྱོད་ཀྱི་དོ་མཉམ་སྲུ་མཐུད་གཉེར་སྐྱོང་ཐུབ་ཆེད་ཀུན་གསལ་བྱེད་ཀྱི་ཡོད་ལ། བྱེད་ལུགས་ཀྱང་ལྡོག་གསོ་བྱ་རྒྱུའི་ལུས་ཚོར་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་ལ་རེག་རེག་བར་མི་བསྒུག་པར་མགྱོགས་སྐྱུར་སློས་འགྲུབ་ཀྱི་ཡོད། དེ་ལྟར་ནའང་གལ་ཏེ་ཁྱོད་ཀྱི་རྐང་མགོ་དེ་ཁད་མི་མཉམ་པའི་ས་གཞིའི་སྟེང་བབས་ཚེ། གློ་བུར་གྱི་འགྱུར་བ་དེར་ཁྱོད་ཀྱི་ཤ་གནད་དག་གིས་ཁ་ཐུག་དེར་བསྟུན་སྒྲིག་ཐུབ་ཆེད་དབང་ཚོར་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་དེ་འདྲ་མ་ལག་དེ་རང་ལ་ཕྱིར་ལོག་བྱེད་ཀྱི་ཡོད།

As we have studied more and more science, you have seen the evolutionary theme exemplified at all levels of the living staircase, from molecules to populations: all biological systems are regulated and, the more important a biologic phenomenon is for survival of the organism and its offspring, the more refined and complex its regulation. A key mechanism of regulation—feedback control—is used in many situations (box 9). We have seen this in several lessons thus far including feedback at the global level during the nitrogen cycle (discussed in *LSP I: Evolution*), feedback between slime mold cells and their external environment, and (discussed in *LSP III: Development and Physiology*) feedback in humans among different hormones and organs affecting behavior, and feedback among many of the molecules regulating energy production in cells. We'll investigate another kind of regulation—feedforward control—in our discussions below.

As we've discussed, the downside of complex, refined regulation, is that the more complex the regulation, the more things can go wrong. But the upside is that the regulated phenomenon in question can be adjusted slightly or significantly up or down in response to many different environmental parameters. Thus, instead of the process simply being on or off, it can be adjusted to be on a little or a lot depending on time of development, time of day, type of cell, temperature, amount of energy available, or other environmental demands.

Since movement is the manifestation of our thoughts, feelings, and actions, perhaps nothing is more important in our biologic lives —other than those thoughts, feelings, and actions themselves—than movement. Think about it: we could have the most compassionate and deep feelings in the world, but if we can't or don't act on those feelings, their value is greatly diminished. We might hear the boy crying, but without the ability to move, we could not even walk toward the sound of crying to make the effort to find him. As movement is so important, it is highly regulated in many ways in humans, who have one of the most, if not the most complex brain on earth. Here we will examine two important regulatory parts of the brain—the basal ganglia and the cerebellum.

BASAL GANGLIA AND CEREBELLUM

In addition to the motor and premotor cortex, at least two other important brain regions are involved in movement planning and execution: the basal ganglia and the cerebellum.

ང་ཚོས་ཚན་རིག་གི་ཤེས་བྱ་ཇི་མང་ཇི་མང་སྦྱོང་བ་དང་དུས་མཚུངས་སུ་ང་ཚོས་མཐོང་བ་ནི་འདུས་རྫུལ་ནས་བརྩིས་ཏེ་སྐྱེ་ལྡན་ཚོགས་འདུས་བར་གྱི་ཚེ་སྲོག་ཐེམ་སྐས་ཀྱི་གདང་བུའི་རིམ་པ་ཐམས་ཅད་དུ་འཕེལ་འགྱུར་རིག་པའི་གྲུབ་དོན་མངོན་གྱུར་དུ་གསལ་བ་དེ་རེད། དེ་ནི་སྐྱེ་དངོས་ཀྱི་མ་ལག་ཀུན་སྟངས་འཛིན་བྱ་བ་བརྒྱུད་དགོས་པ་དང་། སྐྱེ་དངོས་ཀྱི་བྱེད་རིམ་གང་ཞིག་སྐྱེ་དངོས་དེ་དང་དེའི་རིགས་སྨྱུག་དག་གི་འཚོ་གནས་ལ་གལ་འགངས་ཇི་ཙམ་ཆེ་བ་དེའི་ཚོད་ཀྱིས་བྱེད་རིམ་དེའི་སྟངས་འཛིན་བྱ་བའང་ཞིབ་ཚགས་ཆེ་བ་དང་རྟོག་འཛིང་ཆེ་བ་ཡོད་པ་ལ་ཟེར། དེ་ལྟའི་སྟངས་འཛིན་བྱ་བའི་ཐབས་འཕྲུལ་གཙོ་བོ་ཞིག་ནི་ལྡོག་གསོ་ཚོད་འཛིན་གྱི་བྱེད་པ་དེ་ཡིན་ཞིང་། འདི་ཉིད་གནས་སྟངས་མང་པོའི་ནང་འབྲེལ་བ་ཡོད།(སྒྲོམ་བུ་དགུ་པ།) ང་ཚོས་ལྡོག་གསོ་ཚོད་འཛིན་གྱི་བྱེད་པའི་གནས་དོན་འདི་ཉིད་ད་བར་གྱི་སློབ་ཚན་མང་པོའི་ནང་མཐོང་ཡོད་དེ། དེ་དག་གི་ཁྲོད་དུ(‘འཕེལ་འགྱུར’མིང་བྱང་དུ་བྱས་པའི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སློབ་དེབ་དང་པོའི་ནང་གྲོས་སྟུར་བྱས་ཡོད་)གོ་ལའི་རིམ་པར་བྱུང་བའི་ནཡེ་ཊྲོ་ཇེན་ཐྣངས་གཟུགས་ཀྱི་འཁོར་རྒྱུན་ཁྲོད་ཀྱི་ལྡོག་གསོའི་བྱ་གཞག་དང་། སྨུག་ཕུང་ཕྲ་ཕུང་དག་དང་དེ་དག་གི་ཕྱིའི་ཁོར་ཡུག་དབར་འབྱུང་བའི་ལྡོག་གསོ་དང་། (‘ལུས་ཀྱི་འཚར་འཕེལ་དང་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས’མིང་བྱང་དུ་བྱས་པའི་ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སློབ་དེབ་གསུམ་པའི་ནང་གྲོས་སྟུར་བྱེད་པ་)མིའི་ལུས་ནང་གི་རྨེན་རྫས་འདྲ་མིན་དང་གཤེར་སྦྱོད་ལ་ཤུན་འདེབས་པའི་དབང་པོ་བཅས་ཀྱི་དབར་འབྱུང་བའི་ལྡོག་གསོ་དང་། ཕྲ་ཕུང་གི་ལུས་ཕུང་ནང་ནུས་པ་བསྐྱུན་པའི་བྱ་བར་སྟངས་འཛིན་བྱེད་པའི་འདུས་རྫུལ་ནང་ཕན་ཚུན་དབར་འབྱུང་བའི་ལྡོག་གསོའི་བྱ་གཞག་བཅས་ཚུད་ཡོད། གཤམ་གྱི་གྲོས་སྟུར་ནང་ང་ཚོས་སྟངས་འཛིན་བྱ་བའི་རིགས་གཞན་ཞིག་སྟེ། མདུན་གསོ་ཚོད་འཛིན་བྱ་བའི་སྐོར་ཞིབ་གཅོད་བྱ་རྒྱུ་ཡིན།

ང་ཚོས་གྲོས་སྟུར་བྱས་པ་བཞིན། བཀོད་སྒྲིག་གི་བྱ་བ་ཞིབ་ཚགས་ཤིང་རྟོག་འཛིང་ཆེ་བའི་རིགས་ལ་སྐྱོན་ཆ་ཞིག་ཡོད་པ་ནི། ཇི་ཙམ་རྟོག་འཛིང་ཆེ་ན་དེའི་ཚོད་ཀྱིས་དེར་ཉེན་ཁ་ཆེ་བ་ཡོད་པ་དེ་ཡིན། འོན་ཀྱང་དེའི་དགེ་མཚན་གྱི་ཆ་ཞིག་ནི། དེ་ལྟའི་བྱེད་རིམ་གང་ཡིན་ཡང་དེར་ཁོར་ཡུག་གི་མཚམས་འཛིན་མི་འདྲ་བ་སོ་སོར་གཞིགས་ཏེ་ཡར་མར་གྱི་ཚོད་ཆེ་ཆུང་ཇི་འགབ་ལ་འཚམ་འགྲིག་བྱེད་ཐུབ་པ་དེ་ཡིན། དེས་ན་བྱེད་རིམ་གང་ཞིག་སྒོ་འབྱེ་འཛུམ་བྱེད་པ་ཙམ་ལས་གཞན་གང་ཡང་མི་ཐུབ་པ་ལྟ་བུ་མིན་པར། གོང་གསལ་བྱེད་རིམ་དག་ནི་འབྱུང་རིམ་གྱི་དུས་ཚིགས་དང་། ཉིན་གྱི་ཆ་གང་དུ་འབྱུང་བ། ཕྲ་ཕུང་གི་རིགས་གང་དང་འབྲེལ་བ། ཚ་དྲོད་ཀྱི་གནས་བབ། སྦྱོད་སྒོར་བསྟེན་ཆོག་པའི་ནུས་པའི་འབོར་ཚད། གཞན་ཡང་ཁོར་ཡུག་གི་ཆ་རྐྱེན་གཞན་གང་ཅི་ཡོད་བཅས་ལ་གཞིགས་ཏེ་ཡར་མར་གྱི་ཚོད་འཛིན་ཆེ་ཆུང་ཇི་འགབ་ལ་འཚམ་འགྲིག་བྱེད་ཐུབ།

འགྱུལ་སྐྱོད་དེ་ཉིད་ང་ཚོའི་བསམ་བློ་དང་། ཚོར་བ་དང་། བྱ་འགུལ་བཅས་ཀྱི་རྣམ་འགྱུར་ཡིན་པས་ན་ང་ཚོའི་སྐྱེ་ལྡན་རང་བཞིན་གྱི་འཚོ་བའི་ཁྲོད་དུ(བསམ་བློ་དང་། ཚོར་བ་དང་། བྱ་འགུལ་དེ་དག་ཕུད་ན)འགྱུལ་སྐྱོད་ལས་ལྷག་པའི་གལ་གནད་གཞན་གང་ཡང་མ་མཆིས་པའང་སྲིད། ཁྱོད་ཀྱིས་འདི་ལྟར་དུ་གཅིག་སོམས་དང་། ང་ཚོའི་རྒྱུད་དུ་འཇིག་རྟེན་ལ་དམིགས་པའི་སྙིང་རྗེ་དང་གཞན་ཕན་གྱི་བསམ་པ་གཏིང་ཟབ་ཡོད་དུ་ཆུག་ཀྱང་། གལ་ཏེ་ང་ཚོས་བསམས་པ་དེ་དག་ཉམས་ལེན་དུ་མི་འགེལ་བའམ། ཡང་ན་འགེལ་མི་བཏུབ་པ་ཡིན་ཚེ། དེ་དག་གི་དགེ་མཚན་ཧ་ཅང་ཆུང་དུར་གྱུར་པ་རེད། ང་ཚོས་བྱིས་པའི་ངུ་སྐད་ཐོས་ཙང་། གལ་ཏེ་ང་ཚོར་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱེད་པའི་ནུས་པ་མེད་ཚེ། ང་ཚོས་བྱིས་པ་དེ་འཚོལ་བའི་འབད་བརྩོན་བྱེད་པའི་དོན་དུ་ངུད་མོ་གྲག་སའི་ཕྱོགས་སུ་གོམ་འགྲོས་ཙམ་ཚད་ཀྱང་བྱེད་མི་བཏུབ། དེ་ལྟར་འགྱུལ་སྐྱོད་ནི་ཧ་ཅང་གལ་ཆེ་བར་བརྟེན། མིའི་ལུས་པོར་དེ་ཉིད་རྣམ་གྲངས་དུ་མའི་སྒོ་ནས་ཧ་ཅང་ཚད་མཐོའི་སྟངས་འཛིན་བྱ་བས་ཟིན་ཡོད། དེ་ཡང་མི་ལ་ཡོད་པའི་ཀླད་པ་དེ་ཉིད་འཇིག་རྟེན་འདིའི་སྟེང་གི་ཀླད་པ་རྟོག་འཛིང་ཆེ་ཤོས་དེ་མིན་དབང་དུ་བཏང་ནའང་། རྟོག་འཛིང་ཆེ་ཤོས་ཀྱི་གྲས་ཤིག་ཡིན་པ་ནི་གདོན་མི་ཟ། ད་ནི་ང་ཚོས་ཀླད་པའི་ཆ་ཤས་ཀྱི་ཁྲོད་ནས་སྟངས་འཛིན་བྱ་བ་དང་འབྲེལ་བའི་ཆ་ཤས་གལ་ཆེན་གཉིས་ཏེ། ཀླད་ཞབས་རྩ་འདུས་དང་ཀླད་སྙིང་གཉིས་ཀྱི་སྐོར་ཞིབ་གཅོད་ཅིག་བྱ།

ཀླད་ཞབས་རྩ་འདུས་དང་ཀླད་སྙིང་།

འགྱུལ་སྐྱོད་ཀླད་ཤུན་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་སྟུན་བསྡུའི་ཀླད་ཤུན་གྱི་སྟེང་དུ་མ་མཐར་ཡང་ཀླད་པའི་ཆ་ཁུལ་གལ་ཆེན་གཞན་གཉིས་ཀྱང་འགྱུལ་སྐྱོད་འཆར་འགོད་དང་ཉམས་ལེན་བྱ་བར་འབྲེལ་བ་ཡོད་ལ། དེ་དག་ནི་ཀླད་ཞབས་རྩ་འདུས་དང་ཀླད་སྙིང་བཅས་རེད།

Recall the basic anatomy of the brain from *Neurosciences I*. The basal ganglia include the caudate nucleus, putamen, nucleus accumbens and globus pallidus. Together, the caudate and putamen are called the striatum. The basal ganglia also include the subthalamic nucleus and the substantia nigra.

As we know, one important way toward understanding the functions of a particular brain region is to identify the other parts of the brain to which this region connects. Let's think carefully through Figure 33 that shows a simplified outline of the connections within the basal ganglia and between the basal ganglia and other areas of the brain.

Most neural connections that send signals into the basal ganglia project into the striatum. These neurons are excitatory; they originate from the thalamus and from wide ranging areas of the cortex (including motor and somatosensory regions). Remember that the thalamus is the gateway for modulating information going to the cortex, and that the thalami themselves receive information back from the cortex. In addition to this bidirectional communication with the cortex, the thalamus is covered by a sheet of inhibitory neurons called the reticular nucleus. These inhibitory neurons terminate on nuclei within the thalamus and in this way modulate the information that travels between the thalamus and the cortex. The fact that there are so many connections between the basal ganglia and the cortex, the basal ganglia and the thalamus, and the thalamus and the cortex again emphasizes the complex integration of diverse kinds of information in the brain.

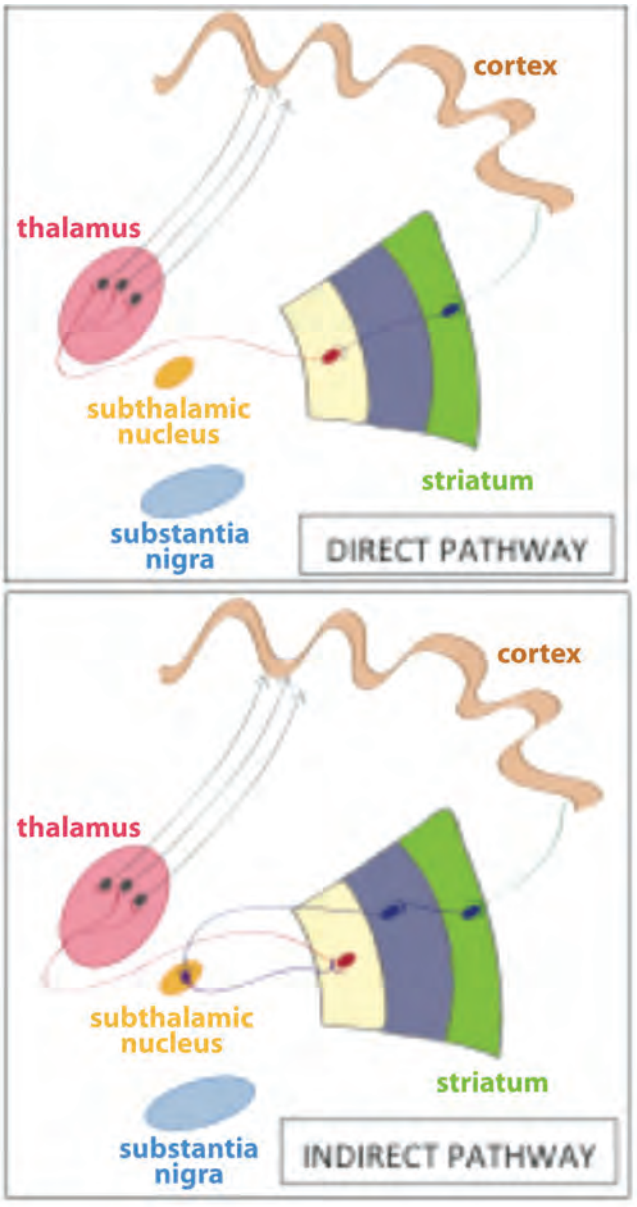
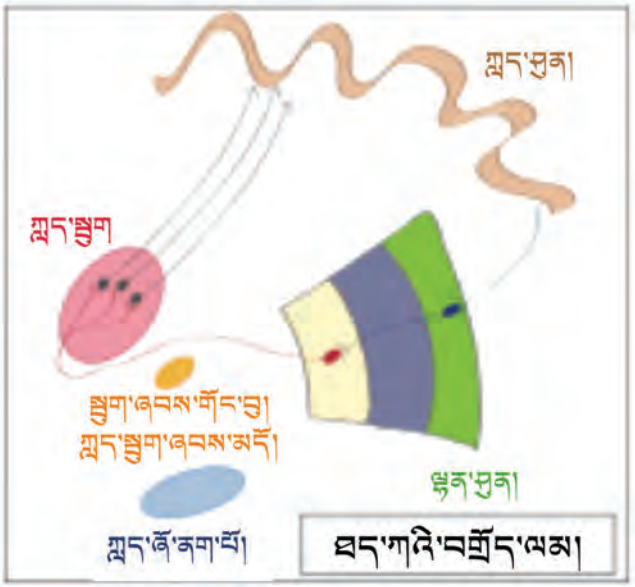


Figure 33: The basal ganglia, including the caudate nucleus and putamen (also called the striatum) and the nucleus accumbens, globus pallidus, subthalamic nucleus and the substantia nigra.

Within the region of the basal ganglia that receives excitatory neural connections from motor regions of the cortex, neuroscientists have again discovered a motor map or homunculus just as we see in the primary motor cortex.

The basal ganglia process motor cortex and somatosensory information and send inhibitory neural signals out, back to the thalamus (and other brain regions) in a kind of loop. These signals come from the globus pallidus and the substantia nigra. There are also many internal neural communications among different parts of the basal ganglia.



དབང་རྩའི་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་འགྲིམ་དེ་དང་པོའི་ནང་ཟླེང་བའི་ཐུང་བའི་གཞི་རིམ་གྱི་ཚགས་བཀོད་རྣམས་འདིར་ཕྱིར་དབྱེ་བྱ་ཡོས། ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་ནང་ལྷག་རྩ་གོང་བུ་དང་ཐུང་རྩ་ཚིགས་གཉིས་ལ་སྐྱེ་རིལ། རླུས་སྐྱ་བཅས་འདུས་ཡོད། འདི་དག་ལས་ལྷག་རྩ་གོང་བུ་དང་ཐུང་རྩ་ཚིགས་གཉིས་ལ་ཐུབ་པའི་ཤེས་ཡོན་ཡིན་ཞེས་བྱ་སྟེ། ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་ནང་ཐུང་རྩ་ཚིགས་ཀྱི་ཁ་ཕྱོགས་ཤིག་ཏུ་ཡོད་པ་ཡིན།

སྟོང་ཀྱི་ཤེས་ཞེས་གསལ་བཞིན། ཐུང་བའི་ཆ་ལྟལ་བྱེ་བྲག་བཞིག་གི་བྱེད་ལས་གང་ཡིན་ཞེས་བའི་ཐབས་ལམ་གལ་ཆེ་ཞིག་ནི་ཆ་ལྟལ་དེ་ཉིད་དང་མཐུན་དེ་གནས་པའི་ཐུང་བའི་ཆ་ཤས་གཞན་རྣམས་ངོས་འཛིན་བྱ་རྒྱུ་དེ་རེད། དེས་ན་ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་ནང་ལྟལ་གྱི་མཐུན་རྐྱེན་ཐུང་ཞབས་སྟེ་འདུས་དང་ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་བའི་ཆ་ལྟལ་གཞན་དག་དབང་ཀྱི་མཐུན་རྐྱེན་ཐུང་ཞབས་སྟེ་རྣམས་སུ་བསྡུས་དང་སྔོན་མཚོན་བྱེད་བའི་དབེ་རིས། ཟཟ ལ་ང་ཚོས་ཞེབ་ནན་གྱིས་བསམ་གཞིག་ཅིག་བྱས།

ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་སྟོན་དུ་བརྟ་འཕེན་གཏོང་བའི་དབང་རྩའི་མཐུན་སྐྱོར་མང་ཆེ་བ་ནི་ཡྔན་ལྟལ་དུ་ནར་ཆྱོང་བྱས་ནས་འགོད་ཡོད། དབང་རྩ་ཐ་རྒྱགས་འདི་རྣམས་དར་སྐྱོང་རང་གཤིས་ཅན་ཡིན་པ་དང་། དེ་དག་ཐུང་སྤྱག་དང་(འགྱལ་སྐྱོད་དང་ལུས་ཚོར་མ་ལྟལ་ཞེ་བའི་)ཐུང་ཡྔན་ཀྱི་རྒྱ་སྟོན་འཕོན་ཆེ་ཞིག་ནས་འགོ་འཛུགས་ཀྱི་ཡོད། དེ་ལ་ཐུང་ཡྔན་ཀྱི་སྔོགས་སུ་བཟོད་ཅིང་འཚམ་སྤྱིག་གཏོང་བའི་བྱེད་ལས་ཅན་ཞེས་ཐུང་སྤྱག་དེ་ཉིད་གཞུང་སྐྱོང་ཞུ་བརྒྱུད་དགོས་ཀྱི་ཡོད་པ་དང་། ཡང་ཐུང་ཡྔན་དེ་དག་ཉིད་ནས་ཤྱིར་ཡོག་ནས་འབྱུང་བའི་ཆ་འཕེན་རྣམས་ཐུང་སྤྱག་དེ་དག་ཉིད་ལ་འབྱོར་ཀྱི་ཡོད་པ་བཅས་འདི་ངའི་ཞབས་ཀྱི་ཐུང་ཞབས་སྟེ་ཞེས་ཐུང་ཞབས་འདི་ཉིད་ཐུང་ཡྔན་དང་ལྡན་དུ་བཏོད་སྔོགས་གཉིས་ཀར་ཏོས་མོལ་དུ་ཞུགས་པར་མ་ཟད་ཐུང་སྤྱག་འདི་ཉིད་འགོག་སྟོམ་རང་གཤིས་ཅན་ཀྱི་དབང་ཚ་ཐ་རྒྱགས་མང་པོས་བྱུབ་པའི་ལེ་ལོ་ཡུག་ཅིག་གིས་གཡོགས་ནས་ཡོད་ཅེང། དེ་ལ་དུ་མདོ་ཟེར་བ་རེད། འགོག་སྟོམ་རང་གཤིས་ཅན་ཀྱི་དབང་ཚ་ཐ་རྒྱགས་འདི་དག་ཐུང་སྤྱག་ནང་གི་ལྷེ་ཉིད་ལྟལ་དུ་རང་རང་གི་མདུག་སྟེ་སྤྲད་ལ་ཚུར་ཡང་དེ་དག་གིས་ཐུང་སྤྱག་དང་ཐུང་ཡྔན་དབབ་རྒྱ་བའི་ཆ་འཕེན་རྣམས་ལ་འཚམ་སྤྱིག་ཟེད་བ་རེད། ཡང་ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་དང་ཐུང་སྤྱག་དབབ། དེ་བཞིན་དུ་ཐུང་སྤྱག་དང་ཐུང་ཡྔན་དབབ་དེ་ལྟ་བུའི་མཐུན་སྟོང་མཚོ་ཡོད་བའི་དངོས་དོན་འཛིས་ཐུང་བའི་ནང་ཆ་འཕེན་རིགས་སྟ་མང་དབབ་ཁན་ཚོན་སྟོང་སྟེག་འཛིང་ཅན་ཞིག་འགྲུབ་ཚུལ་ནན་ཀྱིས་གསལ་སྟོན་ཟེད་ཀྱི་ཡོད།

དབེ་རིས། ཟཟ ལུག་རྩ་གོང་བུ་དང་ཐུང་ཞབས་ཚིགས་གྱི་མ་གཉིས་(དེ་གཉིས་ལ་ཐུན་མོང་དུ་ཡྔན་ཡྔན་ཞེས་འབོད་)དང་། སྐེ་རིལ། ཟླུས་སྐྱ། སྤྱག་ཁབས་གོང་བུ། ཐང་ཁོ་ནག་ཪི། ཐུང་ཁབས་རྩ་འདུས།

འགྱལ་སྐྱོད་ཀྱི་སྟ་རིས་ཐུང་ཡྔན་ལྟལ་དུ་རྐེད་བའི་འགྱལ་སྐྱོད་དབང་རྩའི་འགོད་བབ་གནས་ལུགས་ཇི་འཛ་བ་དེ་འཛ་བའི་འགྱལ་སྐྱོད་དབང་རྩའི་འགོད་བབ་གནས་སྟངས་སམ་འགྱལ་སྐྱོད་དབང་རྩའི་གཏེ་གཟུགས་ཤེགས་ཚོན་རིག་པ་དག་ལ་རྐེད་ཡོད་ཅེང། དེ་ཡོད་ས་ནི་འགྱལ་སྐྱོད་འཛེལ་བའི་ཐུང་ཡྔན་ས་ལྟལ་ཁབག་ནས་བཏང་རང་བའི་ངང་སད་རང་བཞིན་ཀྱི་དབང་རྩའི་སྟེལ་མ་ཞུད་དེ་འཛ་འཚོར་མའི་ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་སྟོན་ཀྱི་ས་ལྟལ་དག་ཡིན།

ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱི་མ་འགྱལ་སྐྱོད་ཐུང་དང་ལུས་ཚོར་གཞི་ས་ཐུང་ཞབས་ལ་དབྱེ་གཅོད་བྱེད་ལ། ཡང་དེས་འགོག་སྟོམ་རང་གཤིས་ཀྱི་དབང་རྩའི་རྣམས་ཐུང་སྤྱག་(དང་ཐུང་བའི་ས་ལྟལ་གཞན་དག་བཅས་)ལ་ཀུག་མིག་ཅིག་གི་བཙོ་དབྱེ་བས་ཆུ་ལ་ཤྱིར་ཡོག་གཏོང་གི་ཡོད། བརྟ་འཕེན་འདི་དག་རླུས་སྐྱ་དང་ཐུང་ཞོ་ནག་ཪི་གཞི་ས་ཆུང་བ་རེད། ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱི་ཆ་ཤས་མི་འཚ་བ་སྟ་ཚོགས་ཀྱི་དབང་ནང་ལྟལ་བརྟ་འཕེན་གཏོང་རེས་ཀྱང་ཅང་ཞིག་ཡོད།

སྟོང་ཀྱི་དབེ་རིས་ ཟཟ ནང་མཚོང་རྒྱབ་པ་ཞིག། ཐུང་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱི་དར་སད་དང་འགོག་སྟོམ་རང་གཤིས་ཅན་ཀྱི་མཐུན་སྟོང་འདི་དག་ཡས་བརྟ་འཕེན་དབྱེ་གཅོད་དང་འཛེལ་བའི་བགོད་ཡས་དེས་བརྒྱང་གཞི་ཀྱི་ཡོད།

As you can see in Figure 33, these many excitatory and inhibitory connections of the basal ganglia add up to two distinct pathways for information processing, the direct pathway and the indirect pathway. In normal individuals, when the direct pathway is excited, it activates the thalamic neurons, and they in turn excite cortical neurons. The net effect of this excitement of cortical neurons is muscle contraction, and thus, movement. When the indirect pathway is excited, the opposite happens: thalamic neurons are inhibited, and they in turn inhibit cortical neurons and thus, inhibit movement. The direct pathway may help us carry out the behavior that best fits the situation, while the indirect pathway prevents other alternative behaviors from occurring. The two pathways are maintained in a fine equilibrium, balancing each other out.

So, in terms of movement, the basal ganglia are involved in facilitating particular actions, probably sorting through potential actions that are stored and initiated in the motor cortex, and then helping to determine which action actually is performed. Because a person can only do one movement at a time, the basal ganglia might be involved in allowing, or at least not inhibiting, one particular action, while inhibiting others. The basal ganglia also perform a similar balancing and gating of emotional and cognitive information coming from the other cortical areas.

Why would the cortex-basal ganglia-thalamic loops decide on one action and movement versus another? Why do you stop and help the crying boy in the woods rather than ignore him? Why do you notice the boy and not the trees? Here we once again turn to that central principle of biology—understanding how things work normally by studying them when they don't work. Much about the answer to action decisions has been garnered from studying people with missing or defective basal ganglia neurons. Model systems—especially monkeys—have also been very useful in understanding basal ganglia and their modulation and selection of action.

The neurotransmitter dopamine appears to be central to this story. As you might imagine, if the equilibrium between the direct and indirect pathways breaks down or is compromised, serious diseases can occur. Parkinson's disease and Huntington's disease are two of the best studied movement disorders. People with Parkinson's move slowly if at all and at rest they suffer from hand tremors. Those with Huntington's suffer nearly opposite symptoms: uncontrolled, continuous movements of their bodies. Determining which neurons are affected in each disease was very important in understanding the mechanisms of the direct and indirect pathways.

འདི་དག་ནི་ཐད་ཀའི་བགྲོད་ལམ་དང་བརྒྱུད་པའི་བགྲོད་ལམ་བཅས་རེད། རྒྱུན་ལྡན་གྱི་སྐྱེ་བོ་ཞིག་གཞིར་བཞག་བྱས་ན། གང་གི་ཚེ་ཐད་ཀའི་བགྲོད་ལམ་ལ་དངར་བསླངས་པ་ན་དེས་གླད་སྨྱུག་ཁྲོན་གྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་སད་སློང་བྱེད་ལ། དེས་ནི་གླད་ཕུན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་སད་པར་བྱེད་པ་རེད། འདི་ལྟར་དུ་གླད་ཕུན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་ལ་སད་སློང་ཐེབས་པའི་གཙང་འབྲས་སུ་ཤ་གནད་རྣམས་འཁུམ་པར་འགྱུར་ལ། དེ་ལས་འགྱུལ་སྐྱོད་འབྱུང་བ་རེད། ཡང་གང་གི་ཚེ་བརྒྱུད་པའི་བགྲོད་ལམ་ལ་དངར་བསླངས་པ་ན་གོང་གསལ་གྱི་ལྡོག་ཕྱོགས་འབྱུང་བ་སྟེ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་གླད་སྨྱུག་ལ་འགོག་སྡོམ་ཐེབས་ལ། དེ་ལས་ནི་གླད་ཕུན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་ལའང་འགོག་སྡོམ་ཐོག་པ་དང་། དེས་འགྱུལ་སྐྱོད་འགོག་པར་བྱེད་པ་རེད། དེས་ན་ཐད་ཀའི་བགྲོད་ལམ་གྱིས་སྐབས་ཐོབ་ཀྱི་གནས་སྟངས་ལ་གཞིགས་པའི་གཤིས་སྤྱོད་རན་ཤོས་དེ་འགྲུབ་པར་ང་ཚོར་རམ་འདེགས་བྱེད་པ་དང་། ཡང་བརྒྱུད་པའི་བགྲོད་ལམ་གྱིས་ནི་དེ་ལས་གཞན་པའི་གཤིས་སྤྱོད་འགྲུབ་པར་ང་ཚོར་འགོག་སྡོམ་བྱེད་པ་རེད། དེའི་ཚུལ་གྱིས་བགྲོད་ལམ་གཉིས་པོས་ཕན་ཚུན་ཡོ་བསྲང་གིས་སྙོམས་གནས་རན་པོར་འཁོད་དུ་འཇུག་གི་ཡོད།

དེས་ན་འགྱུལ་སྐྱོད་ལ་གཞིགས་ན། གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ནི་བྱ་འགྱུལ་དམིགས་བཀར་གྱི་རིགས་ལ་རམ་འདེགས་བྱེད་པར་ཞུགས་ལ། དེ་ཡང་ཐལ་ཆེར་འགྱུལ་སྐྱོད་གླད་ཕུན་ཁྲོན་དུ་བསགས་ཤིང་བསླང་བའི་བྱ་འགྱུལ་གྱི་ནུས་པ་རྣམས་ལ་དབྱེ་བསལ་བྱེད་པ་དང་། དེ་ནས་དེ་དག་ལས་གང་ཞིག་དངོས་སུ་མངོན་པར་སད་དགོས་མིན་ལ་ཐག་གཅོད་བྱེད་པར་ཞུགས་སོ། །སྐྱེ་བོ་ཞིག་གིས་དུས་གཅིག་ལ་འགྱུལ་སྐྱོད་གཅིག་རང་གཅིག་འགྲུབ་ནུས་པས། གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་འདི་ཉིད་ཀྱིས་བྱ་འགྱུལ་ངེས་བཟུང་གཅིག་པུ་དེ་འགྲུབ་ཏུ་འཇུག་པའམ། ཡང་ན་མ་མཐར་ཡང་དེར་འགོག་སྡོམ་མི་བྱེད་ལ། དེ་དང་དུས་མཚུངས་སུ་དེས་དེ་ལས་གཞན་པའི་བྱ་འགྱུལ་འགྲུབ་པར་འགོག་སྡོམ་བྱེད་པར་ཞུགས་སྲིད། དེར་མ་ཟད། གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱིས་གླད་ཕུན་གྱི་ས་ཁུལ་གཞན་དག་ནས་ཐོན་པའི་སེམས་སྤྱོད་དང་ཤེས་རྟོགས་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་དག་ལ་གོང་གསལ་བཞིན་སྙོམ་སྒྲིག་དང་འཚག་རྒྱག་ཀྱང་བྱེད་པ་རེད།

གླད་ཕུན་དང་གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་དང་གླད་སྨྱུག་བཅས་ཀྱི་དབར་གྱུག་མིག་ཅིག་གི་བཟོ་དབྱིབས་ཚུལ་དུ་ལས་ལ་ཞུགས་བཞིན་དུ་བྱ་གཞག་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་གཅིག་འདེམས་ཤིང་གཅིག་ཤོས་འདོར་བའི་ཐག་གཅོད་དེ་འདྲ་ཅིའི་ཕྱིར་བྱེད་དམ། ཁྱོད་ཀྱིས་ཀུང་ནགས་སྐྱང་དེའི་ཁྲོད་དུ་དུད་མོ་བྱེད་པའི་བྱིས་པ་དེ་སྣང་མེད་དུ་མི་འཇོག་པར་དེར་རོགས་བྱེད་པའི་དོན་དུ་རང་གི་བཞུད་འགྲོས་ཅིའི་ཕྱིར་མཚམས་འཇོག་བྱས་སམ། དེ་བཞིན་དུ་ཁྱོད་ཀྱིས་བྱིས་པ་དེར་སེམས་གཏད་ཀྱི་རྩེ་ཤིང་ལ་སོགས་པར་སེམས་ཅིའི་ཕྱིར་མ་གཏད་དམ། འདིར་སླར་ཡང་ངེད་རྣམས་སྐྱེ་དངོས་ཚན་རིག་གི་སྦྱར་གྱི་རྩ་འཛིན་ལྟེ་བ་དེར་ཕྱིར་ལོག་བྱེད་ལ། དེ་ནི་ཆོས་ཤིག་རང་གི་ལས་ལ་རྒྱུན་ལྡན་ལྟར་མི་འཇུག་པའི་སྐབས་དེར་རྟོག་ཞིབ་བྱེད་པ་བརྒྱུད་ཆོས་དེ་ཉིད་ཀྱི་རྒྱུན་ལྡན་གྱི་ལས་ཚུལ་ལ་རྒྱུས་ལོན་བྱེད་ཐུབ་པ་དེ་ཡིན། བྱ་གཞག་གི་རིགས་ལ་ཞུགས་པའི་ཐག་གཅོད་བྱེད་ཚུལ་དང་འབྲེལ་བའི་ང་ཚོའི་གོ་རྟོགས་མང་ཆེ་བ་ཡང་གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་འདྲ་མ་ཚང་བའམ་ཉམས་སྐྱོན་ཐོག་ཡོད་པའི་སྐྱེ་བོའི་སྟེང་དུ་བསྒྲུབས་པའི་དབྱེ་ཞིབ་ལས་བསྡུས་ཡོད། གཙོ་ཆེར་སྤྲེའུས་མཚོན་པའི་དཔེ་ཚད་མ་ལག་དག་ལ་བརྟེན་ནས་ཀྱང་གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་དང་དེའི་འཚམ་སྒྲིག་བྱ་བ་དང་བྱ་གཞག་འདེམས་སྒྲུག་གི་བྱ་བར་རྒྱུས་ལོན་བྱེད་པར་ཕན་ཐོགས་ཆེན་པོ་བྱུང་ཡོད།

གནས་སྟངས་འདིའི་ནང་དབང་རྩ་འཕྲིན་པར་གྱུར་པ་ཌོ་པ་མིན་ཞེས་པས་གལ་གནད་ཅན་གྱི་གནས་བབ་གཟུང་གི་ཡོད་པར་མངོན་ལ། ཁྱོད་ཀྱིས་ཚོད་དཔག་བྱེད་སྲིད་པ་བཞིན། གལ་ཏེ་ཐད་ཀའི་བགྲོད་ལམ་དང་བརྒྱུད་པའི་བགྲོད་ལམ་གཉིས་དབར་གྱི་སྙོམས་འཁོད་གནས་སྟངས་ཉམས་པའམ། ཡང་ན་དེར་ཞན་ཆ་བྱུང་ཚེ་ནད་རིགས་ཚབས་ཆེ་དེ་འདྲ་འབྱུང་སྲིད་པ་རེད། འགྱུལ་སྐྱོད་དང་འབྲེལ་བའི་ཉམས་སྐྱོན་ཁྲོད་ནས་པར་ཀིན་སན་ནད་དང་ཧན་ཊིང་ཊོན་ནད་གཉིས་ད་བར་དབྱེ་ཞིབ་ལེགས་ཤོས་བསྒྲུབས་པའི་ནད་གཉིས་ཡིན་ལ། དེ་ཡང་པར་ཀིན་སན་ནད་ཀྱིས་ཐེན་པའི་ནད་པ་རྣམས་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱེད་ཚེ་དལ་བུར་བྱེད་པ་དང་། ཡང་འགྱུལ་མེད་གནས་ཚེ་ལག་པར་འདར་སིག་ཐེབས་པ་རེད། ཡང་ཧན་ཊིང་ཊོན་ནད་ཀྱིས་ཐེན་པ་རྣམས་ལ་ནི་དེ་ལས་ལྡོག་པའི་ཕྱི་རྟགས་མངོན་ཏེ། དེ་དག་རང་དབང་མེད་པར་ལུས་པོ་ཚད་མེད་དུ་སྒྲུལ་བར་ཞུགས་པའི་ཕྱིར། ནད་རིགས་གཉིས་པོ་སོ་སོར་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་གང་དག་འབྲེལ་བ་ཡོད་ཚུལ་ངེས་གཏན་བྱས་པ་དེས་ནི་ཐད་ཀའི་བགྲོད་ལམ་དང་བརྒྱུད་པའི་བགྲོད་ལམ་གཉིས་པོའི་ལས་ཚུལ་ལ་རྒྱུས་ལོན་ཐོབ་པར་ཧ་ཅང་ཕན་ཐོགས་བྱུང་ཡོད།

In Parkinson's disease, dopamine-producing neurons in the substantia nigra degenerate over time (Figure 34). Thus, the neurons in the striatum are lacking an important source of neural input usually provided by these dopamine neurons. Recall from our discussion above that dopamine is a neurotransmitter that modulates the properties of target neurons. Also above, we discussed ways that the same neurotransmitter could result in different neural effects if it bound to different receptors. This is the case with dopamine in the basal ganglia of healthy individuals: different neurons in the striatum have different kinds of responses to dopamine because they have different receptors. The lack of dopamine neurons (and the subsequent reduction in dopamine) results in neurons in the basal ganglia firing action potentials at abnormal rates and in unusual spurts, which causes movement abnormalities.

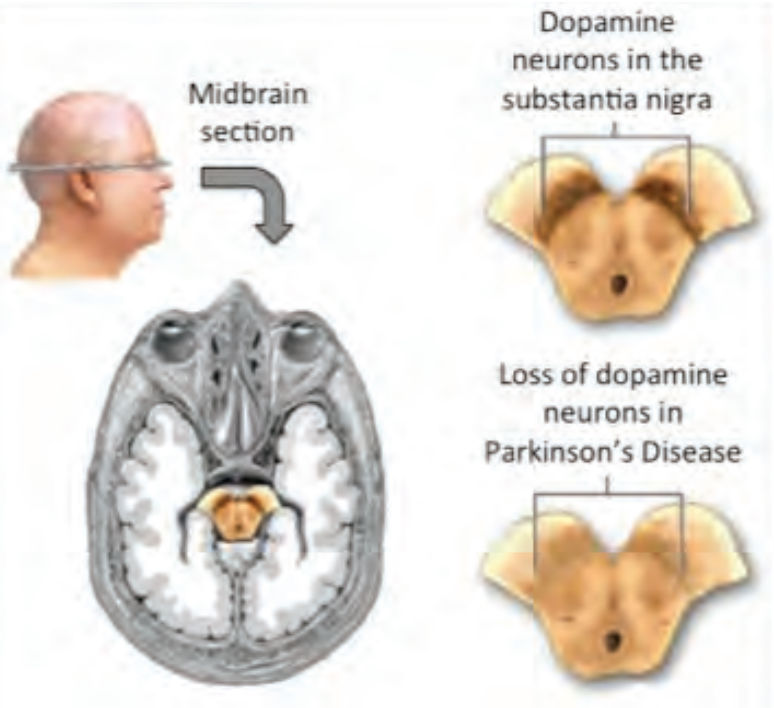
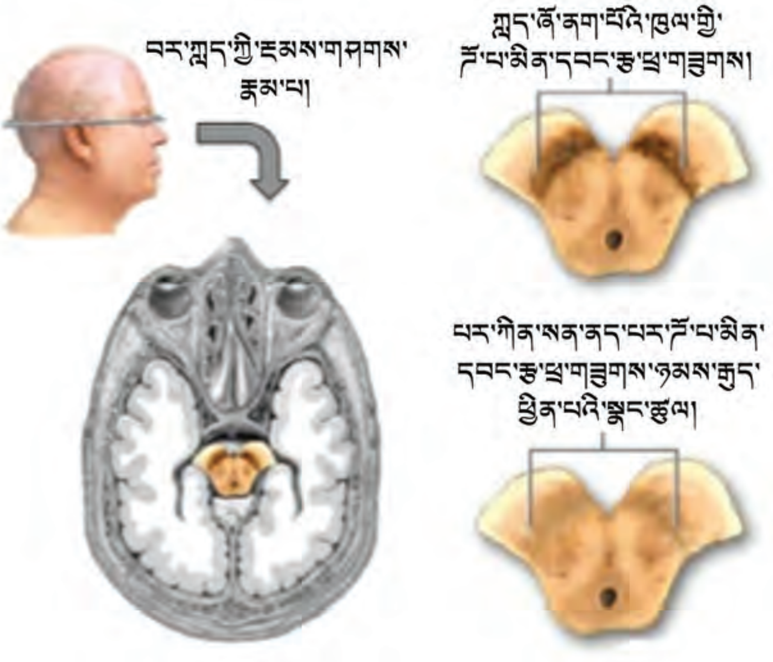


Figure 34: The substantia nigra, located in the midbrain, contains cell bodies that produce dopamine. The cell bodies appear dark; however, in the case of Parkinson's Disease the dopamine producing neurons degenerate. The difference in color is often evident to the naked eye.

Interestingly, research suggests that in addition to modulating movement, dopamine is the key neurotransmitter for two related processes: reward processing and learning, although in the case of reward and learning the dopamine arises from an area neighboring the substantia nigra called the ventral tegmental area (VTA). Intuitively, reward processing and learning are linked - it makes sense that you would more likely do something and in fact remember it if you received some kind of reward for doing it.

Evidence for this comes from studies where the action potentials of basal ganglia dopamine neurons in monkeys were recorded during different types of behavior. Dopamine neurons show increased activity at the time the monkey receives a novel reward, which implies that dopamine may be involved in signaling salience or novelty of stimuli. In addition, when a monkey learns that a specific stimulus always predicts a reward, its dopamine neurons fire strongly after this stimulus, but not as much after the reward itself. This phenomenon suggests that dopamine neurons are involved in reward prediction, and in motivating the animal to carry out actions that will lead to rewards. We will discuss dopamine, reward, and motivation more in the next NS primer.



དཔེ་རིས། ༣༩ བར་ཀླད་ཁུལ་དུ་ཆགས་པའི་ཀླད་ཞོ་ནག་པོ་ལ་ཌོ་པ་མིན་འཕྲིན་པ་སྐྱེད་པའི་ཕྲ་ཕུང་ལུས་དེ་འདྲ་ཚང་ཡོད་ཅིང་། ཕྲ་ཕུང་ལུས་དེ་རྣམས་འདིར་སྣང་ཚོད་དུ་ནག་ཤས་ཅན་དུ་གསལ་བ་དག་རེད། དེ་ལྟར་ནའང་པར་ཀིན་སན་ནད་ཀྱིས་བཏབ་ཚེ་ཌོ་པ་མིན་སྐྱེད་བྱེད་ཀྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་དག་ཉམས་རྒུད་འགྲོ་བ་དང་། དེ་ལས་བྱུང་བའི་སྣང་ཚུལ་གྱི་ཁྱད་པར་དག་ནི་མིག་རྗེན་པས་ཀྱང་མཐོང་ཐུབ།

དུས་ཚོད་འགྲོ་རིམ་བཞིན་པར་ཀིན་སན་ནད་པ་དག་ལ་ཀླད་ཞོ་ནག་པོའི་ཁུལ་གྱི་ཌོ་པ་མིན་སྐྱེད་སྐྲུན་བྱེད་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་ཉམས་རྒུད་འགྲོ་བཞིན་ཡོད།(དཔེ་རིས། ༣༩) དེར་བརྟེན་ལྷན་ཤུན་ཁུལ་གྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་ལ་མཁོ་བའི་དབང་རྩའི་ནང་འདྲེན་རྒྱུ་ཆ་གང་ཞིག་རྒྱུན་དུ་ཌོ་པ་མིན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་འདི་རིགས་ཀྱིས་འདོན་སྤེལ་བྱེད་པ་དེའི་འབྱུང་ཁུངས་གལ་ཆེན་ཞིག་རིམ་གྱིས་མེད་པར་འགྱུར་བ་རེད། གོང་དུ་གྲོས་སྡུར་བྱས་པ་བཞིན་ཌོ་པ་མིན་ནི་རང་གི་དམིགས་འབེན་དུ་གྱུར་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གི་ཁྱད་རྣམ་ལ་འཚམ་སྒྲིག་གཏོང་བའི་དབང་རྩ་འཕྲིན་པའི་རིགས་ཤིག་ཡིན་པ་འདིར་དྲན་དགོས། དེ་བཞིན་དུ་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་གཅིག་པ་དེ་གཉིད་སྣེ་ལེན་པ་མི་འདྲ་བ་དང་འཕྲད་ཚེ་དེས་དབང་རྩའི་མཇུག་འབྲས་མི་འདྲ་བ་ཅི་ཞིག་སློང་ཐུབ་པའི་སྐོར་ཡང་ང་ཚོས་གོང་དུ་གླེང་ཡོད། གནས་སྟངས་འདི་ནི་བདེ་ཐང་ཡིན་པའི་སྐྱེ་བོའི་ཀླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཁུལ་གྱི་ཌོ་པ་མིན་ལ་འབྱུང་བཞིན་པ་ཡིན་ཏེ། ལྷན་ཤུན་ནང་གི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་མི་འདྲ་བ་རྣམས་ཀྱིས་ཌོ་པ་མིན་ལ་ཡ་ལན་སྤྲོད་ཚུལ་མི་གཅིག་པ་ཡིན་ལ། དེ་ནི་སྣེ་ལེན་པ་མི་འདྲ་བ་ཡོད་པའི་དབང་གིས་རེད། ཌོ་པ་མིན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཉུང་དུར་གྱུར་པ་(དང་རིམ་གྱིས་ཌོ་པ་མིན་དེ་བས་ཇེ་ཉུང་དུ་ཕྱིན་པ་)དེའི་འབྲས་བུར་ཀླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཁུལ་དུ་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གིས་རྒྱུན་ལྡན་མིན་པའི་འཕོར་ཚད་དང་། རྣམ་ཀུན་དང་མི་མཚུངས་པའི་དྲག་འཕྱུར་གྱི་རྣམ་པར་ལས་འཇུག་ནུས་པ་རྣམས་འཕེན་གྱི་ཡོད་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་རྒྱུན་ལྡན་མིན་པའི་འགུལ་སྐྱོད་རིགས་སློང་གི་ཡོད།

ཉམས་མཚར་བ་ཞིག་ལ། ཌོ་པ་མིན་གྱིས་འགུལ་སྐྱོད་བྱ་བར་འཚམ་སྒྲིག་བྱེད་པའི་སྟེང་དུ། འབྲེལ་ཡོད་བྱེད་རིམ་གཉིས་ཀྱི་ནང་དུ་འང་དེས་གནད་ཆེ་བའི་དབང་རྩ་འཕྲིན་པའི་བྱེད་ནུས་འདོན་ཚུལ་ཞིབ་འཇུག་གྲུབ་དོན་དག་གིས་སྣེ་སྟོན་བྱེད་ཅིང་། དེ་ལྟའི་བྱེད་རིམ་དག་ནི་ཐོབ་པ་དབྱེ་གཅོད་དང་ཤེས་སྦྱོང་བསྐྱེན་པའི་བྱེད་རིམ་བཅས་རེད། དེ་ལྟར་ནའང་བྱེད་རིམ་འདི་དག་དང་སྦྲེལ་བའི་ཌོ་པ་མིན་ནི་ཀླད་ཞོ་ནག་པོའི་ཉེ་འཁྲིས་ཀྱི་ས་ཁུལ་གང་ཞིག་གི་མིང་ལ་འཐུམ་ཞོ་འོག་མའི་ས་ཁུལ་དུ་འབོད་པ་དེ་ལས་འཐོན་པ་རེད། ཁྱོད་ཀྱི་ཉམས་འབབ་ཏུ་འཆར་ངེས་བཞིན། ཐོབ་པ་དབྱེ་གཅོད་དང་ཤེས་སྦྱོང་བསྐྱེན་པའི་བྱེད་རིམ་གཉིས་པོ་ཕན་ཚུན་སྦྲེལ་ནས་ཡོད། དེ་ནི་བྱ་འགུལ་གང་ཞིག་ལ་ཞུགས་པས་བྱ་དགའ་འཐོབ་ངེས་པའི་རིགས་དག་ལ་གང་ཟག་སུ་ཡིན་ཡང་དེར་ཞུགས་འདོད་ཅིང་། དེ་ཉིད་དུས་ཕྱིས་སུ་འང་དྲན་ཡུལ་དུ་འཆར་འོས་པ་ནི་ལོས་ཡིན་པའི་ཕྱིར།

འདི་ཐད་ཀྱི་དཀའ་བ་ནི་གཤིས་སྤྱོད་འདྲ་མིན་ལ་ཞུགས་བཞིན་པའི་སྤྲེའུའི་ཀླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཁུལ་གྱི་ཌོ་པ་མིན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གི་ལས་འཇུག་ནུས་པ་དང་འབྲེལ་བའི་མངོན་རྣམ་རྣམས་གྲངས་རྣམས་ཐོར་བཀོད་པའི་དབྱེ་ཞིབ་དག་ལས་ཐོབ་ཡོད། སྤྲེའུ་དེར་སྔར་ཐོབ་མ་མྱོང་བའི་གླ་རྔན་སོན་སྐབས་དེའི་ཌོ་པ་མིན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་ཏུ་བྱ་འགུལ་གྱི་རྣམ་གྲངས་འཕེལ་བར་རྟེན་ཡོད། འདིས་ནི་སྐུལ་རྐྱེན་གསར་པའམ་གནད་ཆེ་རིགས་དང་སྦྲེལ་བའི་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་བར་ཌོ་པ་མིན་དེ་ཉིད་འབྲེལ་བ་ཡོད་པར་སྣེ་སྟོན་བྱེད་པ་རེད། དེར་མ་ཟད། ནམ་ཞིག་སྤྲེའུ་དེས་སྐུལ་རྐྱེན་ངེས་ཅན་ཞིག་ཚོར་བའི་མཇུག་ཏུ་གླ་རྔན་ཞིག་ངེས་པར་འབྱུང་བར་ཤེས་ཚེ། མཚམས་དེ་ནས་སྐུལ་རྐྱེན་ཚོར་བའི་མཇུག་ཙམ་དུ་སྤྲེའུ་དེའི་ལུས་ནང་གི་ཌོ་པ་མིན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གིས་(ལས་འཇུག་ནུས་པ་)ཤུགས་ཆེར་འཕེན་གྱི་ཡོད་པར་རྟེན་ཡོད། འོན་ཀྱང་གླ་རྔན་དངོས་སུ་ཐོབ་པའི་སྐབས་དང་འདྲ་བའི་ཤུགས་ཆེན་པོ་དེ་འདྲ་རང་སད་ཀྱི་མེད། གནས་སྟངས་འདིས་ཌོ་པ་མིན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དེ་དག་གླ་རྔན་སྔོན་དཔག་བྱ་བ་དང་འབྲེལ་བ་ཡོད་པར་མ་ཟད། དོ་བདག་སེམས་ཅན་དེ་ཉིད་གླ་རྔན་འཛིན་པའི་བྱ་གཞག་དག་ལ་ཞུགས་པར་ཡང་དེ་དག་གིས་སྐུལ་སློང་བྱེད་པར་མཚོན་གྱི་ཡོད། ཌོ་པ་མིན་དང་། གླ་རྔན་སྐོར་དང་། དེར་སྐུལ་སློང་བྱེད་ཕྱོགས་སྐོར་བཅས་པ་དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་རྗེས་མར་ང་ཚོས་གྲོས་སྡུར་བྱ་རྒྱུ་ཡིན།

Neuroscientists can look specifically at the activity of dopamine-responsive neurons in the striatum when they receive cortical input. Results of such experiments show that the size of the synaptic potential of these neurons is plastic (that is, it changes depending on the experience). When the same cortical input is repeatedly present briefly before the neuron fires, the neuron learns to make bigger responses over time. This is a basic mechanism for learning, or forming memories, which we also will discuss in NS primer 3. In other words, the more times you have experienced the same thing, the more response your brain has to it (Figure 35). In contrast, if one of these striatal neurons repeatedly receives cortical input after it already has fired, it will show smaller and smaller responses to such cortical input. This type of change in synaptic responses is a kind of neural plasticity and it appears to underlie certain kinds of learning. Strikingly, this plasticity of response of striatal neurons to cortical input depends on dopamine. When dopamine receptors are blocked, this kind of plasticity no longer occurs, and the organism can no longer learn.

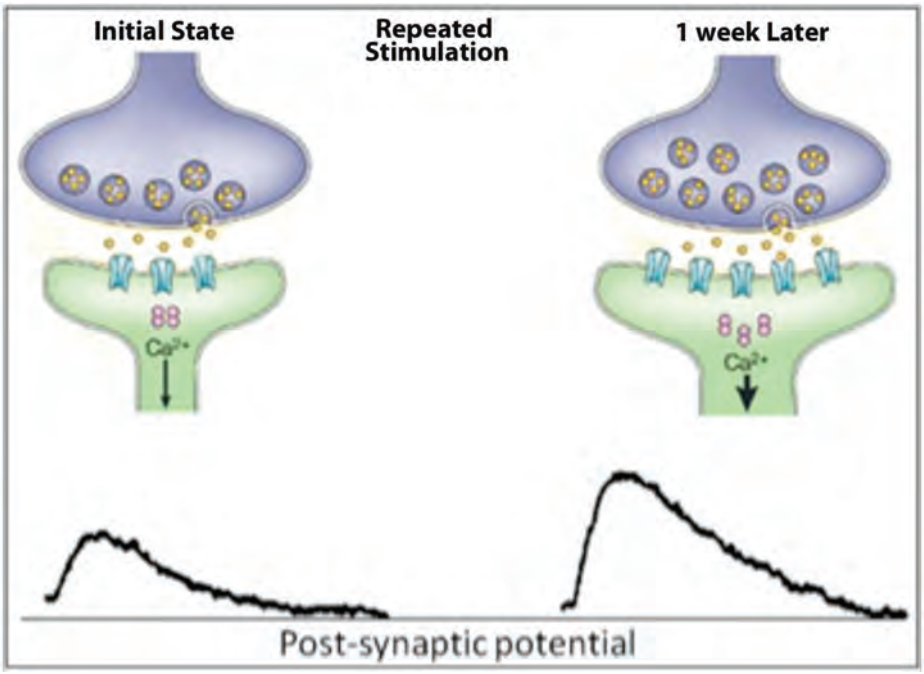
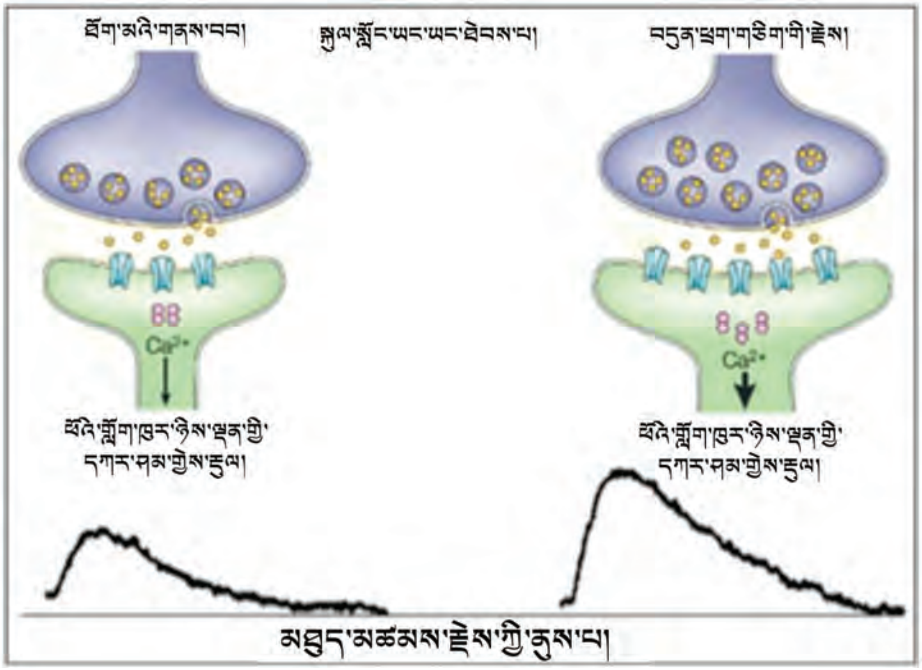


Figure 35: With repeated exposure to a stimulus the neuron produces a larger response.

Thus, reward, learning, and action all come together in the basal ganglia to allow 'neural decision making.' Dopamine neurons in the striatum evaluate several inputs from cortex in each situation, and based on previous learning the striatum chooses one of these cortical patterns, one of these movements and actions. The basal ganglia tell the cortex what to do. Dopamine activity and synaptic plasticity are keenly tuned to rewards; the striatum performs reward learning and tells the animal which action will most likely result in a reward. Think about why reward should be important for learning and motivation.

CEREBELLUM

We have talked in depth about movement and its regulation. We started our discussion with the big picture: how, biologically, do we stop and help the boy? This led us all the way down to the cellular and molecular level of neurons: how does a neuron work? Then we began to build back up toward



དཔེ་རིས། ༣༥ སྐུལ་རྐྱེན་དང་ཡང་ཡང་ཐད་པ་ན་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་ཤིག་གིས་ཡ་ལན་བྱ་བ་ཤུགས་ཇེ་ཆེར་གཏོང་གི་ཡོད།

ཚོ་བ་མིན་ལ་ཚུར་སྣང་སྤྲིན་པའི་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་གང་དག་ལྟེན་ཤུན་ཁུལ་དུ་འཕོད་པ་དེ་དག་གླད་ཤུན་ཁུལ་གྱི་ནང་འདྲེན་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་དང་ཐད་པ་ན་བྱ་འགུལ་གྱི་རྣམ་པ་གང་ཞིག་འཛོན་པ་དག་ལ་ཚན་རིག་པ་རྣམས་ཀྱིས་དམིགས་བཙུགས་ཏེ་ཞིབ་ལྟ་བྱེད་ཐུབ། བརྟག་དཔྱད་ཞིབ་འཇུག་འདི་དག་གི་མཇུག་འབྲས་དག་གིས་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་འདི་རིགས་ཀྱི་མཐུད་མཚམས་ནུས་པའི་ཚད་གཞི་དེ་འགྱུར་གཤིས་ཅན་(ཏེ་སྦྱོང་བ་སོ་སོར་ལྟོས་ཏེ་འགྱུར་བ་འགྲོ་རུང་)ཡིན་པར་བསྟན་ཡོད། དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དེ་ཉིད་ཀྱིས་(ལས་འཇུག་ནུས་པ་)མ་འཕངས་པའི་གོང་དེར་གལ་ཏེ་གླད་ཤུན་ཁུལ་གྱི་ནང་འདྲེན་ཆ་འཕྲིན་གཅིག་རང་ཞིག་བསྐྱར་ནས་ཡང་དུ་ཡུད་ཙམ་ཡུད་ཙམ་རིང་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དེ་དང་འཕྲད་ཚེ་དུས་ཡུན་གང་མཚམས་སོང་རྗེས་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དེས་ཚུར་སྣང་ཇེ་ཆེར་སྤྲིན་རྒྱུར་ལོབས་འགྲོ་ཡི་ཡོད། འདི་ནི་ལོབ་གཤིས་ཐེབས་སྟངས་སམ། ཡང་ན་དྲན་པ་འགྲུབ་སྟངས་ཀྱི་རྨང་གཞིའི་ཐབས་འཕྲུལ་ཞིག་རེད། འདིའི་སྐོར་ཡང་ང་ཚོས་དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་གསུམ་པར་གྲོས་སྡུར་བྱ་རྒྱུ་ཡིན། དོན་འདི་ཉིད་བརྗོད་ཚུལ་གཞན་ཞིག་ཏུ་བྱས་ན་འདི་ལྟར་ཏེ། དོན་གནས་གཅིག་རང་ཞིག་ཁྱོད་ཀྱིས་ཇི་ཙམ་ཐེངས་མང་བར་སྦྱོང་བ་དེའི་ཚོད་ཀྱིས་ཁྱོད་ཀྱི་གླད་པས་དེར་ཚུར་སྣང་མང་བ་སྤྲིན་གྱི་ཡོད། (དཔེ་རིས། ༣༥) དེ་ལས་ལྡོག་སྟེ་གལ་ཏེ་ལྟེན་ཤུན་ཁུལ་གྱི་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དེ་དག་གིས་(ལས་འཇུག་ནུས་པ་)འཕངས་ཟིན་པའི་རྗེས་སུ་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དེ་དག་དང་གླད་ཤུན་ཁུལ་གྱི་ནང་འདྲེན་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་འཕྲད་ཚེ་དེ་དག་གིས་ཆ་འཕྲིན་དེ་དག་ལ་ཚུར་སྣང་ཇེ་ཆུང་ནས་ཇེ་ཆུང་ཙམ་སྤྲིན་གྱི་ཡོད། མཐུད་མཚམས་ཁུལ་གྱི་ཡ་ལན་བྱ་བ་ལ་འདི་རིགས་ཀྱི་འགྱུར་བ་འབྱུང་བ་ནི་དབང་རྩའི་འགྱུར་གཤིས་ཀྱི་རིགས་ཤིག་ཡིན་ཞིང་། འདིས་ཤེས་ཡོན་གྱི་རིགས་ཤིག་གི་གཞི་རྟེན་བྱེད་པ་ལྟ་བུར་མངོན། ངོ་མཚར་ཆེ་བ་ཞིག་ལ། ལྟེན་ཤུན་ཁུལ་གྱི་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་འདི་དག་གིས་གླད་ཤུན་གྱི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་ལ་ཚུར་སྣང་སྤྲིན་ཚུལ་ཐད་འདི་ལྟའི་འགྱུར་གཤིས་འབྱུང་བ་འདི་ཚོ་བ་མིན་ལ་རག་ལས་ཡོད་པ་རེད། ནམ་ཞིག་ཚོ་བ་མིན་སྣེ་ལེན་པ་རྣམས་བཀག་ཆེ་འདི་རིགས་ཀྱི་འགྱུར་གཤིས་སླར་ཡང་མི་འབྱུང་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་སྐྱེ་དངོས་དེར་ཡང་ཤེས་ཡོན་ཐེབས་ཀྱི་མེད།

དེས་ན་དབང་རྩའི་བརྒྱུད་ནས་ཐག་གཅོད་བྱ་བ་རིགས་འགྲུབ་ཆེད་གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ནང་དུ་གླ་རྫན་དང་། ཤེས་ཡོན་དང་། བྱ་སྤྱོད་ཀུན་མཉམ་དུ་འབྱུང་གི་ཡོད། དེ་ཡང་ལྟེན་ཤུན་ནང་གི་ཚོ་བ་མིན་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་རྣམས་ཀྱིས་གནས་སྟངས་རེ་རེའི་ནང་གླད་ཤུན་ཁུལ་གྱི་ཆ་འཕྲིན་དུ་མར་ཞིབ་བཤེར་དབྱེ་འབྱེད་བྱེད་ལ། དེ་སྟ་ཤེས་ཡོན་གང་ཐེབས་པ་གཞི་ལ་བཞག་སྟེ་གླད་ཤུན་གྱི་འགྲོས་རིམ་དང་། འགུལ་སྐྱོད་དང་། བྱ་སྤྱོད་དེ་དག་ལས་གང་ཡང་རུང་བ་རེ་རེ་འདམ་བསལ་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱིས་གླད་ཤུན་ལ་བྱ་བ་གང་ཞིག་འགྲུབ་དགོས་མིན་གྱི་བཀོད་པ་གཏོང་བ་རེད། ཚོ་བ་མིན་འབྲེལ་བའི་བྱ་འགུལ་དང་མཐུད་མཚམས་ཁུལ་གྱི་འགྱུར་གཤིས་བཅས་པ་གླ་རྫན་གྱི་ཕྱོགས་སུ་ཁ་སྐྱུར་གཏོང་བ་དང་། ལྟེན་ཤུན་གྱིས་གླ་རྫན་ལ་བརྟེན་པའི་ཤེས་ཡོན་གྱི་བྱ་བ་འགྲུབ་པས་གླ་རྫན་འདྲེན་ཤུགས་ཆེ་བའི་བྱ་སྤྱོད་གང་ཡིན་ཐད་དོ་བདག་སེམས་ཅན་དེར་བློ་སྣ་སྤྲིན་གྱི་ཡོད། འདིར་ཁྱོད་ཀྱིས་ཤེས་ཡོན་དང་ཀུན་སློང་གི་དགེ་མཚན་འཐོབ་པར་གླ་རྫན་ཇི་ལྟར་གལ་གནད་ཆེ་ཚུལ་ཐད་བསམ་གཞིག་བྱེད་འོས།

གླད་སྙིང་།

ད་བར་ང་ཚོས་འགུལ་སྐྱོད་དང་འཚམ་སྒྲིག་བྱ་བའི་སྐོར་གཏིང་ཟབ་པོར་བགྲོ་གླེང་བྱས་ཤིང་། ང་ཚོས་གྲོས་སྡུར་དེ་རྒྱ་ཆེ་ས་ཞིག་ནས་འགོ་བརྩམས་ཡོད། དེ་ནི་རང་གི་གོམ་བགྲོད་མཚམས་བཞག་ནས་བྱེས་པ་དེར་རྣམ་འདེགས་བྱེད་པའི་རྒྱུད་རིམ་དེར་སྐྱེ་དངོས་གནས་ལུགས་ཀྱི་ཕྱོགས་ནས་འགྲེལ་བཤད་ཇི་ལྟར་རྒྱག་ཚུལ་དེ་ཡིན། འདིས་ང་ཚོའི་བགྲོ་གླེང་

the actions and thoughts of a whole human again: how do neurons work together? How can many neurons working together result in different activities and behaviors? Then, because movement is vital to any action, we focused on how the neuromuscular junctions are vital, at the cellular level, to movement. We learned about the three different types of movement in which our neuromuscular junctions are involved: reflex, voluntary or directed, and central-pattern generated. Finally, we've been asking questions about directed movement: how are movements controlled and regulated in the brain? First, how do we select movements? Then, why do we select one movement over the other? Finally, here we ask: how do the actions and movements that we do perform happen so smoothly? How do the muscles necessary for action work together and other muscles not needed stay out of the process? How does the body keep track of its posture and balance so that we can carry out the same movement irrespective of the position of the rest of our body?

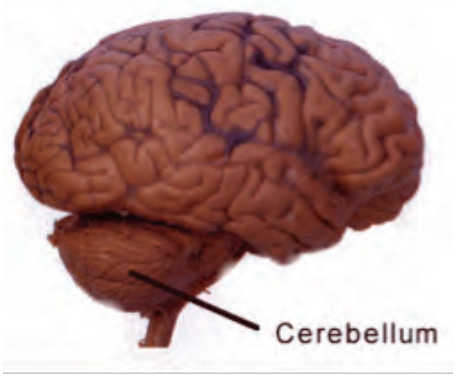
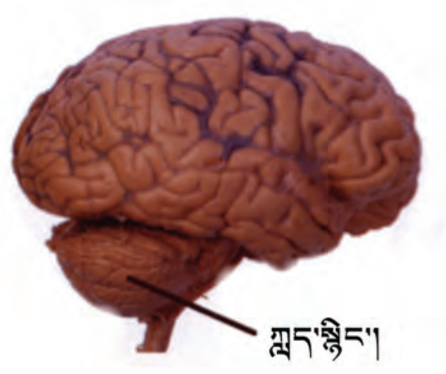


Figure 36: The cerebellum is a large structure located in the back of the brain. It contains more neurons than any other single subdivision of the brain.

The cerebellum is a large structure located at the back of the brain (Figure 36) and is deeply involved in addressing the above questions concerning balance, muscle coordination, and posture maintenance. Although it is easy to overlook the cerebellum when we see pictures of the brain, it contains more than half of all the neurons in the brain (despite making up only 10% of brain size). The more is learned about it, the more complex and diverse its functions appear: we can expect to learn much more in the near future. Much about the function of the cerebellum was determined by studying people who have movement disorders, and matching the particular area of neural damage to the particular symptom of the disease (see Box 10).

The cerebellum contains more than half of all the neurons in the brain (despite making up only 10% of brain size), and like the basal ganglia, it receives information from the cortex about movement and then helps organize and carry out particular movements. The cerebellum also receives input from the vestibular organs and proprioceptors we discussed above to help us make adjustments to our posture so that we keep our balance. In addition, the cerebellum coordinates the timing and force of the many muscles required to effectively perform any movement. Not surprisingly then, the cerebellum probably plays a role in language and other processes that require movement and the sequencing of actions. The cerebellum is also crucial for trial-and-error motor learning so we can make smooth and effective movements. This is the kind of learning we experience in say,

གི་ཁ་ཕྱོགས་དེ་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དང་འབྲེལ་བའི་ཕྲ་ཕུང་དང་འདུས་རྡུལ་རིམ་པའི་གནས་ལུགས་བར་ཁྲིད་ཡོད་པ་སྟེ། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་བྱེ་བྲག་པ་ཞིག་གི་ལས་ཚུལ་ལ་རྒྱུས་ལོན་བྱེད་དུ་བཅུག་ཡོད། དེ་ནས་རིམ་གྱིས་མཐར་མི་བུ་གང་པོ་ཞིག་གི་བསམ་བློ་དང་བྱ་སྤྱོད་བསྟེན་ཚུལ་བར་ཕྱིར་ལོག་བྱས་པ་སྟེ། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ནང་ཕན་ཚུན་གྱི་མཉམ་ལས་བྱེད་ཚུལ་དང་། དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དུ་མ་མཉམ་ལས་བྱེད་པ་ལས་བྱ་འགྱུལ་དང་གཤིས་སྤྱོད་སྣ་ཚོགས་དེ་དག་འདྲེན་ཚུལ་བཅས་ལ་ཞིབ་ལྟ་བྱས་ཡོད། དེ་ནས་ང་ཚོས་ཕྲ་ཕུང་གི་རིམ་པར་དབང་རྩ་དང་ཕ་གནད་སྦྲེལ་བའི་མཚམས་ཚིགས་རྣམས་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་དག་ལ་གལ་གནད་ཇི་གཟུང་གི་གནས་དོན་ལ་དམིགས་བཙུགས་ཏེ་ཞིབ་ལྟ་བྱས་ཡོད། དེ་ནི་བྱ་སྤྱོད་ཅི་འདྲ་ཞིག་ལའང་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་དེ་གནད་ཆེ་ཡིན་པའི་རྒྱུ་མཚན་གྱིས་ཡིན། འདི་དག་ལས་ང་ཚོའི་དབང་རྩ་དང་ཕ་གནད་སྦྲེལ་མཚམས་དག་དང་འབྲེལ་བའི་འགྱུལ་སྐྱོད་རིགས་གསུམ་གྱི་སྐོར་ང་ཚོས་གསར་དུ་ཤེས་པ་ནི་ལྡོག་འགྱུལ་དང་། ཆེད་སྒྲུལ་ལམ་དམིགས་འཛུགས་པའི་འགྱུལ་སྐྱོད། (མ་ལག་)ལྡེ་བའི་འགྲོས་རིམ་གྱིས་བསྒྲངས་པའི་འགྱུལ་སྐྱོད་བཅས་ཡིན། མཐའ་མཇུག་ཏུ་ང་ཚོས་དམིགས་འཛུགས་འགྱུལ་སྐྱོད་སྐོར་དོགས་དྲི་བྱས་ལ། དེ་དག་ནི། འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་རྣམས་ལ་ཀླད་པའི་ནང་ཚོད་འཛིན་དང་འཚམ་སྒྲིག་ཇི་ལྟར་བྱེད་དམ། དེར་ཡང་དང་ཐོག་ང་ཚོས་འགྱུལ་སྐྱོད་ཀྱི་རིགས་འདམ་བསལ་ཇི་ལྟར་བྱེད་དམ། དེ་ནས་འགྱུལ་སྐྱོད་ཁྲིད་གང་ཞིག་འདེམ་ཞིང་གང་ཞིག་མི་འདེམ་པ་དེ་ཅིའི་ཕྱིར་འབྱུང་ངམ། ལྟ་བུ་ཡིན། མཐར་འདིར་སྐབས་ཡང་ང་ཚོས་འདི་ལྟར་དུ་འདྲི་སྟེ། ང་ཚོས་གང་འགྲུབ་པའི་བྱ་སྤྱོད་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་རྣམས་ལྡོད་ཅིང་འཛམ་ཆག་གེ་བར་འགྲུབ་པ་འདི་ཇི་ལྟར་འབྱུང་ངམ། བྱ་སྤྱོད་ཞིག་ལ་ངེས་པར་མཁོ་བའི་ཕ་གནད་རྣམས་ལས་ལ་མཉམ་དུ་ཞུགས་ཤིང་། དེར་མི་མཁོ་བའི་ཕ་གནད་རྣམས་བྱེད་རིམ་དེར་མི་ཞུགས་པ་དེ་ཇི་ལྟར་འབྱུང་ངམ། འགྱུལ་སྐྱོད་ཀྱི་རིགས་གཅིག་རང་ཞིག་འགྲུབ་པར་མཁོ་བའི་ལུས་ཀྱི་སྟངས་ཀ་དང་དོ་མཉམ་གནས་བབ་རྣམས་ལུས་བྱེངས་ཀྱི་འཕོད་བབ་ལ་ལྟོས་མེད་དུ་ལུས་ཀྱིས་སྲུང་འཛིན་ཇི་ལྟར་བྱེད་དམ། ལྟ་བུ་ཡིན།



དཔེ་རིས། ༣༨ གླད་སྙིང་ནི་གླད་པའི་རྒྱབ་ཕྱོགས་སུ་འཁོད་པའི་དབྱིབས་བཀོད་ཆེ་ཙམ་ཞིག་ཡིན། གླད་པའི་ནང་གསེས་ཀྱི་དུམ་ཚན་བྱེ་བྲག་པ་གཞན་ཅི་འདྲ་ཞིག་དང་བསྡུར་ཡང་ཡན་ལག་འདིར་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་གྲངས་འབོར་མང་ཤོས་འདུས་ཡོད།

གླད་སྙིང་ནི་གླད་པའི་རྒྱབ་ཕྱོགས་སུ་ཆགས་པའི་བཀོད་དབྱིབས་ཆེ་ཙམ་ཞིག་ཡིན་ཞིང་།(དཔེ་རིས། ༣༨) འདི་ཉིད་གོང་དུ་དོ་མཉམ་དང་། ཕ་གནད་ཚུལ་སྒྲིག་དང་། སྟངས་སྟབས་ཀྱི་ཚུགས་ཀ་བཅས་དང་འབྲེལ་ནས་བསྒྲངས་པའི་དྲི་བ་རྣམས་ལ་ལན་ལྡོན་པར་འབྲེལ་བ་གཏིང་ཟབ་ཡོད། རྒྱུན་དུ་གླད་པའི་པར་རིས་དེ་འདྲ་མཐོང་དུས་གླད་སྙིང་ལ་སྣང་མེད་དུ་འཇོག་ཉེན་ཆེ་ཡང་། དོན་དངོས་སུ་ནི་(བོངས་ཚད་ཀྱི་ཆ་ནས་གླད་པའི་བརྒྱ་ཆའི་བཅུ་ལས་མི་ལོང་ཡང་)གླད་པའི་ནང་གི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཁྲོན་འབོར་གྱི་ཕྱེད་ལྷག་གླད་སྙིང་གཅིག་པུའི་ནང་འདུས་ཡོད། འདིའི་སྐོར་ཇི་ཙམ་མང་བ་ཤེས་པ་དེའི་ཚོད་ཀྱིས་འདིའི་བྱེད་ལས་རྣམས་རྣམ་གྲངས་མང་ཞིང་རྙོག་འཛིང་ཆེ་ལུགས་སྐོར་ཇེ་གསལ་དུ་འགྱུར་ལ། མི་རིང་བར་ང་ཚོས་འདིའི་སྐོར་ད་རུང་མང་བ་ཤེས་རྒྱུའི་རེ་བ་བྱེད་ཆོག འགྱུལ་སྐྱོད་འཁྲུག་སྐྱོན་ཐེབས་པའི་སྐྱེ་བོར་དབྱེ་ཞིབ་བརྟག་དཔྱད་བྱེད་པ་དང་། འཁྲུག་སྐྱོན་དེའི་ནད་རྟགས་བྱེ་བྲག་པ་རྣམས་དབང་རྩའི་ཉམས་ཆག་ཤོར་སའི་ས་ཁུལ་བྱེ་བྲག་པ་སོ་སོ་དང་གཤིབ་བསྡུར་བྱེད་པའི་བརྒྱུད་རིམ་ལས་གླད་སྙིང་གི་བྱེད་ལས་སྐོར་གྱི་ཤེས་རྒྱ་མང་པོ་ཞིག་ད་ཕན་ངེས་གཏན་བྱས་ཡོད།(སྒྲོམ་བུ་བཅུ་པར་ལྟོས།)

གླད་པའི་ནང་གི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཡོངས་རྫོགས་ཀྱི་གྲངས་འབོར་ཕྱེད་ལྷག་གླད་སྙིང་འདིར་འདུས་ཡོད། (བོངས་ཚད་ཀྱི་ཆ་ནས་གླད་སྙིང་འདི་གླད་པའི་བརྒྱ་ཆ་བཅུ་ལས་མི་ལོང་བ་རེད།) གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་དང་མཚུངས་པར་འགྱུལ་སྐྱོད་འབྲེལ་བའི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་གླད་ཤུན་ནས་གླད་པའི་ཆ་ཤས་འདིར་འབྱོར་ལ། དེ་ནས་ཆ་ཤས་འདིས་འགྱུལ་སྤྱོད་དམིགས་བཀར་བ་དེ་འདྲ་སྟོན་འགྲོ་གྲ་འགྲིག་པ་དང་དངོས་གཞི་འཛུགས་ཐུབ་པར་རམ་འདེགས་བྱེད། གོང་དུ་ང་ཚོས་གྲོས་སྡུར་བྱས་པའི་སྨུག་ལྡན་དབང་པོ་དག་དང་བབས་འགྱུར་སྣེ་ལེན་པ་དག་ནས་ཀྱང་གླད་སྙིང་འདིར་ཆ་འཕྲིན་རྒྱུ་ཆ་འབྱོར་ལ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ང་ཚོའི་ལུས་ཀྱི་དོ་མཉམ་སྲུང་འཛིན་ལ་སྨན་པའི་སྟངས་སྟབས་སྙོམ་སྒྲིག་བྱ་བར་ཡང་རམ་འདེགས་འཐོབ་པ་རེད། དེར་མ་ཟད་འགྱུལ་སྐྱོད་ཀྱི་བྱ་བ་ཅི་འདྲ་ཞིག་ཡིན་ཡང་དེ་ཉིད་འཐུས་ཚང་དུ་འགྲུབ་པར་ངེས་པར་མཁོ་བའི་ཕ་གནད་མང་པོ་དག་གི་དུས་ཚིགས་དང་དང་ཤུགས་བཅས་ལ་འབྲེལ་མཐུད་འཚམ་འགྲིག་བྱ་རྒྱུའི་བྱ་བ་ཡང་གླད་སྙིང་འདིས་འགྲུབ་པ་རེད། དེ་ལྟར་ན་ཚོད་དཔག་བྱེད་ཐུས་པ་བཞིན། སྐད་བརྡ་དང་གཞན་ཡང་བྱེད་རིམ་གང་ཞིག་ནང་འགྱུལ་སྐྱོད་དང་བྱ་འགྱུལ་གྱུང་སྒྲིག་གི་རྣམ་པ་ངེས་པར་འདུས་དགོས་པ་དག་ལའང་གླད་སྙིང་འདིས་ཆ་ཤས་ལེན་པ་ཕལ་ཆེར་ངེས་པ་རེད། གཞན་ཡང་ང་ཚོས་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་རྣམས་འཇམ་འཆགས་ཤིང་ཐུས་པ་ལྡན་པར་འགྲུབ་ཐུབ་པ་ལ་ཐོག་མར་ངེས་པར་བརྒྱུད་དགོས་པའི་དགེ་སྐྱོན་ཡོ་སྲང་གི་ཐབས་ལམ་སྒོ་ནས་འགྱུལ་སྐྱོད་སྦྱོང་བརྡར་བྱེད་པའི་རིམ་པར་ཡང་གླད་སྙིང་འདི་ཉིད་ཧ་ཅང་གནད་ཆེ། འདི་ལྟའི་སྦྱོང་བརྡར་ནི་ང་ཚོས་དབྱུག་རྩེད་པོ་ལོ་

figuring out how to hit a cricket ball, or to play ping-pong or basketball. Figure 37 shows an example of one of the many cerebellar connections that communicate with the cortex, spinal cord, thalamus, and vestibular organs.

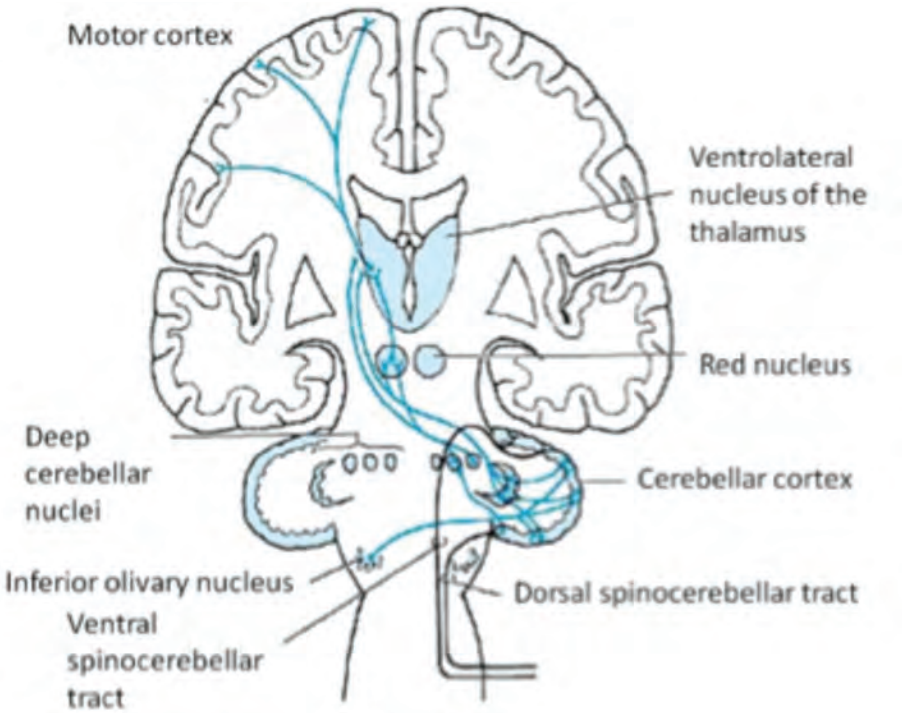


Figure 37: In this cross-section of the brain, we see connections (in blue) between the cerebellum, the spinal cord, the thalamus, and the vestibular organs. Connections from the cerebellum relay in the thalamus and descend on the motor cortex.

In addition to movement, the cerebellum is becoming more widely appreciated for its role in cognitive and emotional processing. For example, the cerebellum is important for emotion regulation, and people suffering from disorders of emotion such as depression have abnormal cerebellar function and structure. Furthermore, the cerebellum is critical for processing of language, above and beyond its use in the motor aspects of language production. Evidence for this comes from neuroimaging studies showing activation of the cerebellum during tasks that require language processing, as well as studies showing that individuals who have suffered damage to their cerebellum have impaired language processing. This makes sense given what we have said about the role of the cerebellum in timing and in error detection, since both of these processes are critical for comprehending a sentence, the meaning of which is conveyed by the specific orientation of words in relation to one another.

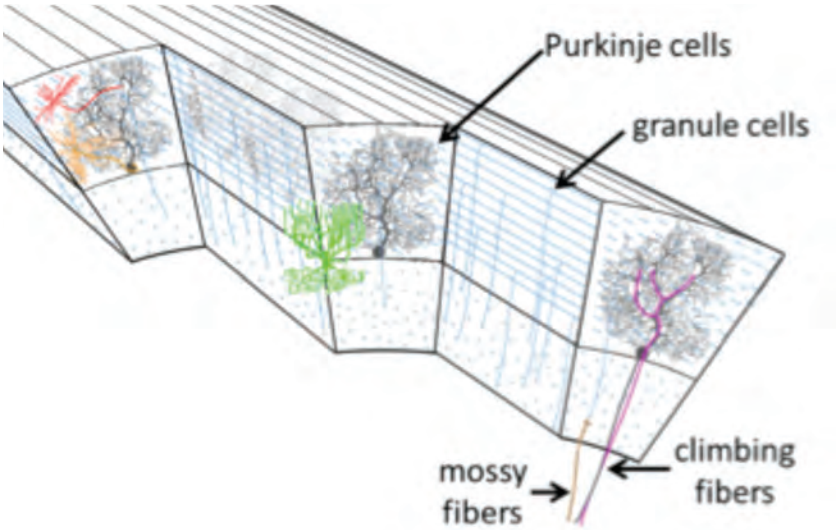
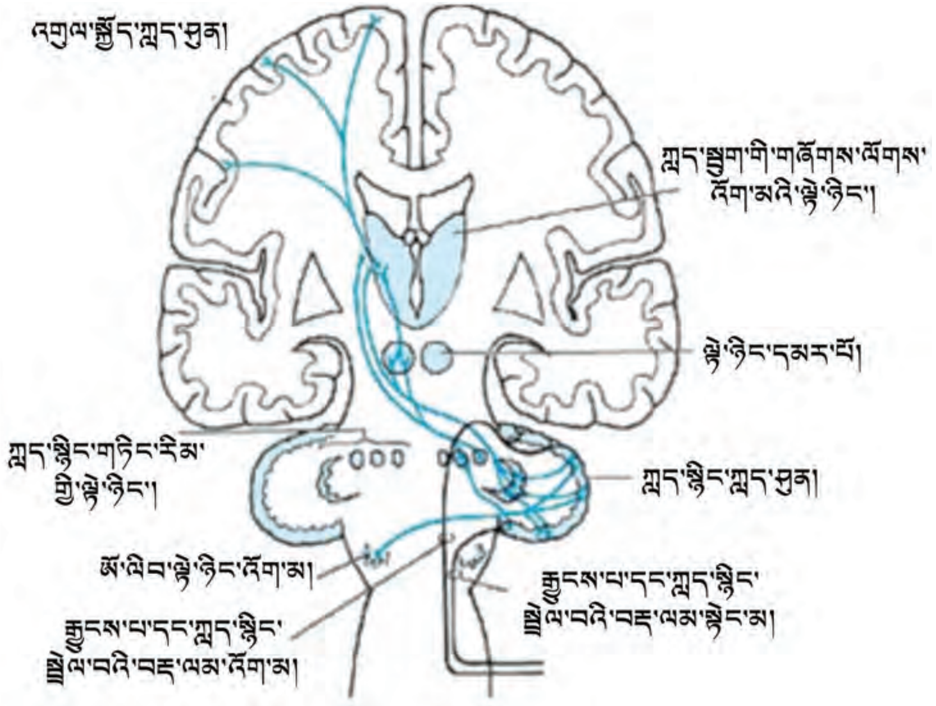


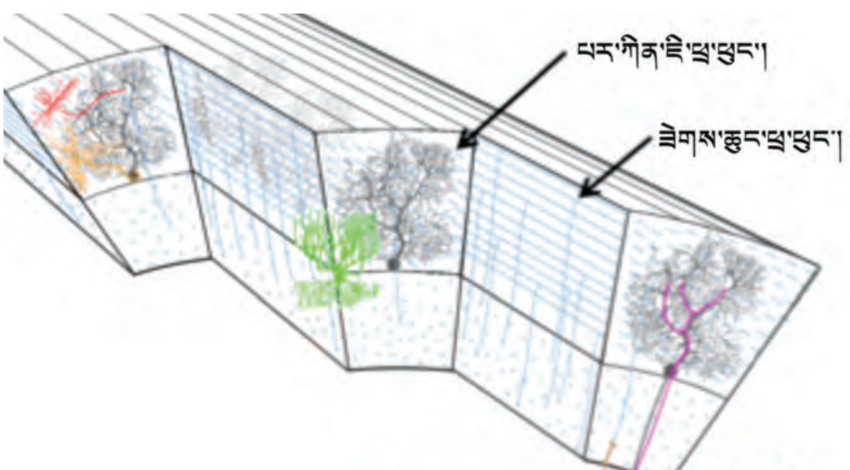
Figure 38: Cross-section of the cerebellar cortex showing some of the diverse cell types. The inner (lower) layer contains mostly granule cells, the middle layer is comprised of Purkinje cell bodies, and the outer (upper) layer contains their dendritic trees and other cells. Purkinje neurons have a long axon that stretches through other layers and out of the cerebellar cortex, while axons of the granule cells ascend to the outer layer and bifurcate to form the parallel fiber system (blue lines). Rokni et al. 2008. Frontiers in Neuroscience. doi: 10.3389



དཔེ་རིས། ༣༧ ཀླད་པའི་འཕྲེད་གཤགས་ཀྱི་རྣམ་པ་འདིར་ཀླད་སྙིང་དང་། རྒྱུངས་པ་དང་། ཀླད་སྦུག་དང་། སྦུག་ལྡན་དབང་པོ་བཅས་པའི་དབར་གྱི་མཐུད་སྦྱོར་(ཁ་དོག་སྔོན་པོ་ཅན་)རྣམས་ང་ཚོས་མཐོང་ཐུབ། མཐུད་སྦྱོར་དེ་དག་ཀླད་སྙིང་ནས་ཐོན་ཏེ་ཀླད་སྦུག་བརྒྱུད་པ་དང་། དེ་ནས་མཐར་འགྱུལ་སྐྱོད་ཀླད་ཤུན་ཁུལ་དུ་འབབ་པ་རེད།

གཞུ་སྟངས་སམ། ཡང་ན་ལྷོག་རྩེ་པོ་ལོ་དང་སིལ་པོལ་རྩེ་སྟངས་སྒྲོང་བའི་སྐབས་སུ་ང་ཚོས་ཉམས་སུ་མྱོང་གི་ཡོད། དཔེ་རིས་ ༣༧ ནང་དུ་ཀླད་སྙིང་གི་མཐུད་སྦྱོར་མང་པོའི་ནང་ནས་མཚོན་གཞི་གཅིག་གིས་ཀླད་ཤུན་དང་། རྒྱུངས་པ། ཀླད་སྦུག སྦུག་ལྡན་དབང་པོ་རྣམས་དང་བརྡ་ལན་སྦྲོད་ལེན་བྱེད་ཚུལ་མཚོན་འགྲེལ་བྱས་ཡོད།

ཀླད་སྙིང་འདི་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་དང་འབྲེལ་བ་ཡོད་པའི་ཁར། འདི་ཉིད་ཡུལ་རྟོགས་དང་སེམས་མྱོང་བྱེད་རིམ་དག་ལའང་འབྲེལ་ཚུལ་གྱི་ངོས་འཛིན་ཇེ་འཕེལ་འགྲོ་བཞིན་ཡོད། དཔེར་མཚོན་ན། ཀླད་སྙིང་འདི་སེམས་མྱོང་སྟངས་འཛིན་བྱ་བར་གལ་ཆེ་ཡིན་པར་མ་ཟད། ཡིད་སྨུག་ལྟ་བུ་སེམས་མྱོང་དང་འབྲེལ་བའི་འཁྲུག་སྐྱོན་གྱིས་གཟིར་བའི་སྐྱེ་བོ་རྣམས་ལ་ཀླད་སྙིང་གི་ཆགས་བཀོད་དང་བྱེད་ལས་བཅས་པ་རྒྱུན་ལྡན་ལྟར་མེད་པར་རྟེན་ཡོད། གཞན་ཡང་། སྐད་བརྡ་བསྒྱུར་པའི་བྱ་བ་དང་འབྲེལ་བའི་འགྱུལ་སྐྱོད་རིམ་པར་ཀླད་སྙིང་གི་སྤྱོད་སྒོ་ཡོད་པའི་སྟེང་དུ། ཀླད་པའི་ཡན་ལག་འདི་སྐད་བརྡ་དབྱེ་གཙོད་ཀྱི་བྱེད་རིམ་ལའང་གལ་གནད་ཏ་ཅང་ཆེ། འདིའི་དོན་རྟགས་གཅིག་ནི་སྐད་བརྡར་དབྱེ་གཙོད་བྱེད་པའི་བྱེད་སྒོའི་རིགས་འགྲུབ་པའི་གནས་སྐབས་དེར་བླངས་པའི་དབང་རྩའི་བརྙན་པར་དག་གི་ནང་གསལ་བའི་ཀླད་སྙིང་ཁུལ་གྱི་ངར་སློང་རྣམ་པ་དག་ཡིན་ལ། དེར་མ་ཟད། ཀླད་སྙིང་ལ་ཉམས་ཉེས་ཐོག་པའི་སྐྱེ་བོ་དག་གི་སྐད་བརྡའི་དབྱེ་གཙོད་བྱེད་རིམ་ཉམས་དམས་སུ་སོང་ཡོད་པར་སྟོན་པའི་བརྟག་དཔྱད་དབྱེ་ཞིབ་དག་ཀྱང་འདིའི་དོན་རྟགས་ཡིན། འདི་ནི་གོང་དུ་ང་ཚོས་ཀླད་སྙིང་འདི་ཉིད་དུས་ཚིགས་འཚམ་འགྲིག་བྱ་བ་དང་འགལ་འཛོལ་རྩད་ཞིབ་བྱེད་རིམ་ནང་འབྲེལ་བ་ཡོད་ཚུལ་བཤད་པ་དང་མཐུན་ཏེ། བྱེད་རིམ་འདི་གཉིས་ཀ་ཚིག་སྒྲུབ་ཅིག་གི་གོ་བརྡ་འཕྲོད་པར་ཧ་ཅང་འབྲེལ་ཆེ་བའི་ཕྱིར་དང་། དེ་ལྟའི་གོ་བརྡ་ནི་མིང་ཚིག་བར་ཚུན་གྱི་ཁ་ཕྱོགས་འབྲེལ་ཕྱོགས་དམིགས་བཀར་བ་དག་ལ་རག་ལས་པའི་ཕྱིར།



དཔེ་རིས། ༣༨ ཕྲ་ཕུང་རིགས་མི་འདྲ་བ་ཁག་ཅིག་མཚོན་སྟོན་བྱེད་པའི་ཀླད་སྙིང་ཀླད་ཤུན་གྱི་འཕྲེད་གཤགས་རྣམ་པ་ཞིག དེ་ཡང་ནང་མའི་(འོག་གི་)རིམ་པར་ཐལ་ཆེ་བ་ཟེགས་ཆུང་ཕྲ་ཕུང་གི་རིགས་འདུས་ཡོད་ལ། བར་གྱི་རིམ་པར་པར་ཀིན་ཇེ་ཕྲ་ཕུང་ལུས་དག་དང་། ཕྱིའི་(སྟེང་གི་)རིམ་པར་དེ་དག་གི་བརྡ་ལེན་རྩ་ལག་དང་ཕྲ་ཕུང་གཞན་དག་བཅས་འདུས་ཡོད། པར་ཀིན་ཇེ་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་ལ་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་རིང་པོ་རེ་ཡོད་ཅིང་། འདི་དག་བང་རིམ་གཞན་དག་ཕུའང་མཆེད་པས་མཐར་ཀླད་སྙིང་ཀླད་ཤུན་བརྒལ་ཏེ་འཐོན་པ་རེད། ཟེགས་ཆུང་ཕྲ་ཕུང་དག་གི་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་རྣམས་ནི་ཕྱི་རིམ་གྱི་ཕྱོགས་སུ་ཀྱིན་དུ་འཛེང་པོར་སྐྱེ་བ་དང་། དེ་ནས་ཡན་ལག་སོ་སོར་འགྱེས་ཏེ་ཐད་གཤིབ་ཅན་གྱི་ཐག་རན་མ་ལག་དེ་འདྲའི་ངོ་བོར་(ཐིག་རིས་སྔོན་པོར་གསལ་བ་)འགྲུབ་པ་རེད། Rokni et al. 2008. Frontiers in Neuroscience. Doi: 10.3389

Figure 38 shows examples of the unique types of neurons in the cortex of the cerebellum and how they interconnect through the layers of the cerebellar cortex. Note the different structures of these neurons and consider how these structures might help you predict their functions. The very small granule cells make up nearly half of all neurons in the brain. Their long axons form a system of fibers in the outer layer. Purkinje cells' flat tree-like structures are particularly striking, as is their arrangement in the cerebellar cortex—they are all lined up in parallel to each other and are the only neurons that supply neural output from the cerebellar cortex, while the mossy and climbing fibers carry input.

Box 10. IN DEPTH: CEREBELLAR DEFICITS

What happens when there are problems with the cerebellum? Many different symptoms can occur, some of which are described below. What do these symptoms tell you about the normal function of the cerebellum?

Decomposition of movement
Patients with cerebellar defects can't perform smooth movements; they break movement down into separate parts. Leaning down to pick up the sad boy in the woods requires your hips, arms, shoulders, elbows and hands to work together. Patients with cerebellar damage first move the hips, then the shoulders, elbows, etc., rather than move all in one smooth motion.

Intention tremor
When performing that movement with a purpose, say to pick up the boy, cerebellar patients often reach out, but then their hands start to shake and move back and forth as they get closer to the target.

Dysdiadochokinesia
Patients have difficulty performing rapidly alternating movements, such as hitting a surface rapidly and repeatedly with the palm and back of the hand

Deficits in motor learning
When you lean over to pick up the boy, you shift your head position in relation to the rest of your body. Cerebellar patients often have trouble sensing this shift and adjusting their body movements appropriately, resulting in loss of balance or inability to carry out the task. Not only are they unable to perform previously long-practiced actions fluently, but they also have difficulty learning new ones.

Based on the phenotypes of the cerebellar disorders described in Box 10, it is clear that the cerebellum synthesizes information from cortex,

དཔེ་རིས་ ༣༨ ནང་ཀླད་སྙིང་གི་ཀླད་ཤུན་ཁྱོན་དུ་ཆགས་པའི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་རིགས་དམིགས་བསལ་ཅན་དག་གི་དཔེ་མཚོན་གསལ་བ་དང་ཆབས་ཅིག་ཀླད་སྙིང་ཀླད་ཤུན་གྱི་བང་རིམ་དུ་མའི་ཁྱོན་དུ་དེ་དག་ཕན་ཚུན་ཇི་ལྟར་མཐུད་སྦྱོར་བྱེད་ཚུལ་ལ་འགྲེལ་མཚོན་བྱེད་ཀྱི་ཡོད། ཁྱོད་ཀྱིས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་འདི་དག་གི་ནང་གསེས་ཆགས་དབྱིབས་མི་འདྲ་བའི་རྣམ་པར་དོ་སྣང་བྱོས་ལ། ཆགས་དབྱིབས་འདི་དག་ལས་དེ་དག་སོ་སོའི་བྱེད་ལས་ཀྱི་ཕྱོགས་སུ་སྣེ་སྟོན་ཇི་ལྟར་བྱེད་མིན་ལ་འང་བསམ་གཞིག་ཅིག་བགྱི་རོགས། ཀླད་པའི་ནང་གི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་འཁོར་ཚད་ཀྱི་ཕལ་ཆེར་ཕྱེད་ཙམ་ཆེས་ཆུང་བའི་ཟེགས་ཆུང་ཕྲ་ཕུང་གི་རིགས་ཡིན་ཞིང་། འདི་དག་ལ་ཡོད་པའི་བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཕྲན་རིང་མོ་དག་གིས་ཕྱིའི་བང་རིམ་ཁྱོན་དུ་མཆེད་པའི་རྩ་རྒྱུས་ཀྱི་མ་ལག་ཅིག་གྲུབ་པ་རེད། པར་གྱིན་ཇི་ཕྲ་ཕུང་དག་གི་ལེབ་ལ་སྟོང་པོའི་རྣམ་པ་འདྲ་བའི་ཆགས་དབྱིབས་དག་ནི་དམིགས་བསལ་ཡིད་དབང་འགུག་པོ་ཞིག་ཡོད་ལ། དེ་བཞིན་དུ་ཀླད་སྙིང་ཀླད་ཤུན་ཁྱོན་དུ་དེ་དག་གི་འགྲམས་ལུགས་ཀྱང་ཡིད་དབང་འགུག་པོ་ཞིག་ཡིན་ཏེ། དེ་ཀུན་ནང་ཕན་ཚུན་ལ་ལྟོས་ཏེ་ཐད་གཤིབ་དང་གྲལ་ལམ་དུ་འཁོད་ཅིང་། ཀླད་སྙིང་ཀླད་ཤུན་གྱི་ས་ནས་དབང་རྩའི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་ཕྱིར་འདྲེན་བྱེད་མཁན་གྱི་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་རིགས་དེ་འབའ་ཞིག་ཡིན། དེ་མིན་གྲོག་ཤིང་རྩ་རྒྱུས་དག་དང་གཅིན་འཛེག་རྩ་རྒྱུས་དག་གིས་ནི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་ཀླད་ཤུན་དེར་པར་ནང་འདྲེན་བྱེད་པ་རེད།

སྒྲོམ་བུ་བཅུ་པ། གཉིད་ཚུགས་པའི་ལྟ་ཞིབ། ཀླད་སྙིང་དང་འབྲེལ་བའི་ཆད་སྐྱོན།

གལ་ཏེ་ཀླད་སྙིང་ལ་ཉེས་སྐྱོན་རིགས་ཕོག་ཚེ་ཅི་ཞིག་འབྱུང་ངམ་ཞེ་ན། དེ་ལས་ནད་རྟགས་དུ་མ་ཞིག་འབྱུང་སྲིད་ལ། དེ་དག་ལས་འགའ་ཞིག་ནི་གཤམ་དུ་གསལ་བ་ལྟར་རོ། །ནད་རྟགས་འདི་དག་གིས་ང་ཚོར་བདེ་ཐང་ཀླད་སྙིང་གི་བྱེད་ལས་སྐོར་ཅི་ཞིག་སྟོན་ནམ།

འགུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་ཉམས་ཞན་དུ་འགྲོ་བ།

ཀླད་སྙིང་ལ་ཉེས་སྐྱོན་ཕོག་པའི་ནད་པ་དག་གིས་འགུལ་སྐྱོད་རིགས་འཛམ་འཆག་གི་བར་བསྒྲུབ་མི་ནུས་ཏེ། དེ་དག་གིས་འགུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་རྣམས་དུམ་བུ་དུམ་བུར་གཅོད་དགོས་པར་འགྱུར་བའི་ཕྱིར། ནགས་ཀླུང་ཁྲོད་ཀྱི་སྔར་གྱི་ཡི་ཆད་པའི་བྱིས་པ་དེ་ཡང་འདེགས་པར་ཁྱོད་ཉིད་མར་བསྒྱུར་ཏེ་རང་གི་དཔྱི་མགོ་དང་། དཔུང་ངར། ཕྲག་པ། གྲུ་མོ། ལག་པ་བཅས་པ་ཀུན་དུས་མཉམ་དུ་ལས་ལ་བཅོལ་དགོས་པ་ཡིན། དེ་ལྟ་ནའང་ཀླད་སྙིང་ལ་ཉེས་སྐྱོན་ཕོག་པའི་ནད་པ་དག་གིས་ནི་ཐོག་མར་དཔྱི་མགོ་བསྒྱུལ་བ་དང་། དེ་ནས་ཕྲག་པ་དང་གྲུ་མོ་ལ་སོགས་པ་རིམ་གྱིས་བསྒྱུལ་དགོས་པ་ལས། དེ་རྣམས་དུས་མཉམ་དུ་འཛམ་ཆག་གི་བར་བསྒྱུལ་མི་ནུས།

ཆེད་རྩོལ་འདར་འཁྲུག

དཔེར་ན་སྔར་གྱི་བྱིས་པ་དེ་ཡང་བང་བ་ལྟ་བུར་མཚོན་ན། ཀླད་སྙིང་ལ་ཉེས་སྐྱོན་ཕོག་པའི་ནད་པ་དག་གིས་ཆེད་དུ་འགུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་ཞིག་ལ་ཞུགས་པའི་ཚེ། ཐོག་མར་ཡུལ་གྱི་ཕྱོགས་སུ་ལག་པ་རྐྱོང་མོད་ཀྱང་། དེ་ནས་ཡུལ་ལ་ཇེ་ཉེ་ཇེ་ཉེར་སྒྱུར་བ་ན་རིམ་གྱིས་ལག་པ་འཁྱོམ་པ་དང་། རྒྱབ་མདུན་སོ་སོར་འཁྱོར་བ་སོགས་བྱེད།

བསྟར་ཆགས་འགུལ་སྐྱོད་ཉམས་སྐྱོན།

ཀླད་སྙིང་ལ་ཉེས་སྐྱོན་ཕོག་པའི་ནད་པ་དག་གིས་དངོས་པོའི་ངོས་ཤིག་ལ་རང་གི་ལག་པའི་རྒྱབ་མདུན་གཉིས་ཀྱིས་རེས་མོས་ཀྱིས་མུ་མཐུད་དུ་སྒྱུར་བར་གཞུས་པ་ལྟ་བུའི་འགུལ་སྐྱོད་ཀྱི་བྱ་བ་མི་འདྲ་བ་དེ་འདྲ་སྤེལ་མར་མགྱོགས་མྱུར་སྒོར་བསྒྲུབ་པར་དཀའ་ཚེགས་ཆེ།

འགུལ་སྐྱོད་ཤེས་སྦྱོང་ལ་ཕོག་པའི་ཆད་སྐྱོན།

རྒྱུན་དུ་ཁྱོད་ཀྱིས་སྔར་གྱི་བྱིས་པ་ལྟ་བུ་ཞིག་ཡར་འདེགས་ཆེད་ཐོག་མར་མར་བསྒྱུར་བ་ན། རང་གི་ལུས་པོ་བྱིངས་ཀྱི་འཁོད་གནས་ལ་གཞིགས་ཏེ་རང་གི་མགོ་བོའི་འཁྱེར་ཕྱོགས་ལ་འཕོ་འགྱུར་གཏོང་བ་རེད། ཀླད་སྙིང་ལ་ཉེས་སྐྱོན་ཕོག་པའི་ནད་པ་དག་ལ་ནི་དེ་ལྟའི་འཕོ་འགྱུར་གྱི་རྣམ་འགྱུར་ཚོར་དཀའ་ཞིང་། ལུས་ཀྱི་འགུལ་སྐྱོད་ཚུལ་མཐུན་དུ་འཚམ་སྒྲིག་བྱེད་པའང་དཀའ། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ལུས་ཀྱི་དོ་མཉམ་ཤོར་བའམ། ཡང་ན་སྐབས་འབྲེལ་གྱི་ལས་དོན་གང་ཡིན་དེ་བསྒྲུབ་མི་ཐུབ། དེ་ཡང་ནད་པ་འདི་དག་གིས་སྔར་ནས་ཡུན་རིང་གོམས་བྱུང་ཡོད་པའི་ལས་རིགས་བསྒྲུབ་མི་ཐུབ་པ་ཙམ་དུ་མ་ཟད། ལས་རིགས་གསར་པ་གསར་དུ་སློབ་པར་ཡང་དཀའ་ཚེགས་འཕྲད་ཀྱི་ཡོད།

སྒྲོམ་བུ་བཅུ་པའི་ནང་གསལ་སྟོན་བྱས་པའི་ཀླད་སྙིང་གི་འཁྲུག་སྐྱོན་དང་འབྲེལ་བའི་རིགས་རྟགས་མངོན་རྣམ་གྲུབ་ལུགས་གཞིར་བྱས་ནས་བཤད་ན། ཤ་གནད་ནང་ཁུལ་གྱི་འཚམ་འགྲིག་བྱ་བ་ཞིབ་མོའི་རིགས་འགྲུབ་ཆེད་དང་། ལུས་ཀྱི་

proprioceptors, and other parts of the nervous system to allow fine muscle coordination and maintain posture and balance. As with the basal ganglia, the cerebellum also seems to help in learning and decision-making (although with different types of learning in different types of situations than the basal ganglia), deciding which action to take and bases much of this decision on comparing the current situation to past experiences of similar situations. It is in this latter step of comparision that a special process called feedforward regulation occurs. Indeed, feedforward principles are particularly prominent in how the cerebellum works.

Almost all the biological systems we've discussed to this point involve feedback regulation. Here, as you recall, information from the process in question and its environment feeds back to fine-tune and adjust the process as it occurs. In feedforward control, information that leads to a resultant action is set (based on matching with past environmental cues) and does not change once it's activated (see box 9). Such feedforward processes also must be flexible, but instead of changing as they happen like in feedback regulation, what changes in feedforward regulation is the pre-settings. The settings are readjusted based on trial and error. This shifting of feedforward settings can be viewed as a disadvantage. On the other hand, feedforward-regulated processes do not have to continually readjust during the action, as they do in feedback-regulated processes.

Let's look at a couple of examples of action that probably involve a combination of feedforward and feedback regulation in the cerebellum. When you are walking through the woods and lean over to talk to the crying boy, as your head moves down toward the boy, your eye must move in a way that allows you to keep looking at the boy. The cerebellum permits the movement of the eyes to just counterbalance the movement of your head to happen by using information it receives from both vestibular organs in your head, and other sensors interpreting the environment of the woods and boy. If the cerebellum made an error, you would lose your view of the boy for a second. This error information would be fed back to the cerebellum, so that the next time this situation occurred, the feedforward control would work in a fashion so that your eye would move just right in relation to your head, and you would not lose sight of the boy.

ཚུགས་ཀ་དང་དོ་མཉམ་སྡུང་འཛིན་བཅས་བྱ་ཆེད་བློད་སྟིང་གིས་བློད་ཤུན་དང་། བབས་འགྱུར་སྟེ་ལེན་པ་དང་། དབང་རྩའི་མ་ལག་གི་ཚ་ཤས་གཞན་ནས་འབྱོར་བའི་ཚ་འཕེན་རྣམས་བསྟེ་སྒོག་བྱེད་པ་གསལ་པོ་རེད། བློད་ཞབས་རྩ་འདུས་དང་འཛ་བར་བློད་སྟིང་གིས་ཀྱང་(བློད་ཞབས་རྩ་འདུས་དང་མ་འཛེལ་བའི་གནས་སྐངས་འོག་ཤེས་སྟོང་གི་རྣམ་པ་མི་འདྲ་བའི་ནང་)ཤེས་སྟོང་དང་ཐག་གཅོད་ཀྱི་བྱ་བར་རམ་འདེགས་བྱེད་པར་མངོན་ལ། དེ་བཞིན་དུ་མིག་སྤྲའི་གནས་སྐངས་དང་མཚུངས་པའི་འདས་པའི་གནས་སྐངས་ཀྱི་རྒྱུད་བཞི་ལ་བཞག་སྟེ་བྱ་སྟོང་གང་ཞིག་འགྲུབ་དགོས་མིན་ཀྱི་ཐག་གཅོད་བྱེད་པར་ཡང་ཆད་ཀྱི་རྒྱུ་རེད་པས། གོང་གསལ་ཀྱི་གོམ་སྐབས་ཀྱི་མ་སྟེ་མཚུངས་སྤྱད་བྱེད་པའི་དུས་རིམ་དེའི་གནས་སྐབས་སུ་མདུན་གསོ་བགོད་སྟིན་བྱ་བར་འགོད་པའི་བྱེད་རིམ་དམིགས་བསལ་བ་དེ་འགྲུབ་ཀྱི་ཡོད། དོན་ངོ་མར་ཡང་མདུན་གསོ་ཞི་རྩ་ཏྲིན་དེ་དག་སྐད་སྟིང་གི་ལས་ཚུལ་དང་འབྲེལ་བའི་གནད་དོན་ནང་འབྲུར་དུ་ཐོན་པ་ཞེག་རེད།

ང་ཚོས་ད་བར་ཐོས་སྤྱང་བྱས་པའི་ལུས་ཁམས་མ་ལག་ཏུ་ལམ་ཡོངས་རྫོགས་ཀྱི་ནང་ལྟོག་གསོའི་བགོད་སྒྲིག་བྱ་བ་འབྲེལ་བ་ཡོད། ཁྱོད་ཀྱིས་ཕྱིར་དྲན་ནུས་པ་བཞིན། འདིར་སྐབས་འབྲེལ་ཀྱི་བྱེད་རིམ་གང་ཡིན་པ་དེ་དང་དེའི་ཁོངས་ཡུག་བཅས་ནས་ཐོན་པའི་ཚ་འཕེན་རྣམས་སྐང་ཞེང་བྱེད་རིམ་དེ་གང་ཕྱིར་བླངས་ནས་བྱེད་རིམ་དེ་ཉིད་འགྲུབ་བཞིན་དུ་དེང་རྩོ་རྩེད་ཀྱི་ཐབས་ཤེས་ཡིན་པ་དང་དེའི་འཚམ་འགྲིགས་བྱ་བར་བྱེད་ནུས་འདོད་པ་རེད། འོན་ཀྱང་མདུན་གསོ་ཚོད་འཛིན་ཀྱི་བརྒྱུད་རིམ་ནང་དུ་ནི་བློང་འབྲས་སུ་གང་འཐོབ་རྒྱུའི་བྱ་སྤྱོད་སྒོང་བྱེད་ཀྱི་ཚ་འཕེན་དེ་ཉིད(ཐལ་ཟིན་པའི་ཁོར་ཡུག་གི་བཙུ་སྟོན་དགེ་བའི་འཕྲོད་བློང་བ་གཞིན་བྱས་ནས་)སྤྱ་ས་ནས་གཏན་ཝེ་བས་ཟིན་པས། ལན་གཅིག་ཡར་སང་རྩེ་ས་དེ་གཙོད་འགྱུར་མི་འཚོ་བ་རེད། (སྒོམ་བྱ་དགུ་པར་ཟྭོས།) དེ་ལྟ་ནའང་མདུན་གསོ་བྱེད་རིམ་འདི་དག་ཀྱང་ཁང་ཤེན་གྱི་ཉམས་ཚན་ཞེག་ཡིན་དགོས་ཀེ། འདིར་ལྟོག་གསོའི་སྐངས་འཛིན་རྩི་བཞིན་རང་གི་བྱེད་རིམ་འབྲུབ་བཞིན་དུ་འགྱུར་བ་མི་འཚོ་ནའང། དེའི་ཚབ་ཏུ་བྱེད་རིམ་འདིའི་ནང་སྟོན་ཚད་ཀྱི་གནས་བབ་དེ་དག་ལ་འགྱུར་བ་འབྱུང་བའི་ཐྲེབ། དེ་ནི་སྤར་ལམ་ཀྱི་གནས་བབ་དེ་དག་ལ་དགེ་སྐྱོན་ཡོ་སྤང་གི་ལམ་ནས་བསྒྲུར་སྒྲིག་ཞེབས་པ་དེ་ཡིན། འདི་ལྟར་དུ་མདུན་གསོ་བྱེད་རིམ་ནང་སྤྱ་མའི་གནས་བབ་འགོ་འགྱུར་འཚོ་བ་འདི་ཉེད་ཐོག་ཡོགས་གཅིག་ནས་སྐྱོན་ཆད་ཀྱི་ཐོག་ཏུ་མཐོང་ཆོག་ཀུ་མཐོང་སྟིང་ཞིག་ཡོད། ཡོགས་གཞན་ནས་བལྟས་ན་ལྟོག་གསོ་སྤྱད་པའི་ཐོག་ཏུ་བྱེད་རིམ་ནང་བྱེད་རིམ་གང་ཞིག་འགྲུབ་བཞིན་དུ་འཚམ་འགྲིགས་སུ་མཐུན་རྐྱེན་ཡོད་ཀྱི་རེད་ལ། ཁོང་ཚོས་ཀྱང་ཐོག་ཏུ་བྱེད་རིམ་ནང་བྱེད་རིམ་ཐོག་ལ་ཐོག་ཏུ་མཐོང་ཆོག་པ་ཞིག་ཡོད་པ་ཡིན།

འདིར་ང་ཚོས་མདུན་གསོ་དང་ལྟོག་གསོ་བགོད་སྒྲིག་གི་རིགས་གཉིས་ཀ་ཚང་བའི་བློད་སྟིང་ནང་གི་བྱ་སྟོང་ཀྱི་དབེ་མཚོན་གཉིས་ལ་ཞེན་ཡུ་བྱ། ནགས་སྐྱང་དེའི་ཁོངས་ཏུ་ཁྱོད་ཉིད་ཉིད་ཐེབ་བཞུད་བཞིན་དུ་ནམ་ཞིག་དུད་མོ་བྱེད་བཞི་བའི་བྱིས་པ་དེང་ཁ་བརྡ་བྱེད་ཆེད་དེའི་སྒོག་སུ་མགོ་ཏོ་བསྒྲུབ་བ་ན། ཁྱོད་ཀྱིས་བྱིས་པ་དེ་སུ་མཐུད་དུ་མཐོང་ཐུབ་ཀྱི་ཞུས་ཆེད་མིག་དེ་ཚུལ་དེས་ཅན་ཞིག་ཏུ་དགོས། དེ་ལྟར་དུ་མགོ་ཏོའི་འཁྲུང་ཤེས་མཚུངས་སུ་མིག་དག་ཀྱང་བ་དེ་ཅི་སྐད་སྟིང་གི་བྱེད་པ་ལ་བརྟེན་ནས་འབྲུང་ཞེད། དེ་ཡང་མགོ་ཏོའི་ནང་གི་སྐྱུག་ལྟན་དབང་ཏོ་དག་ལས་སོན་པའི་ཚ་འཕེན་རྣམས་ལ་སྐད་སྟིང་ཀྱི་ནང་བྱེད་རིམ་ཁ་དང་། ཚོར་བྱེད་ཀྱི་ཤུགས་ཀྱི་ཞུ་ཐུབ་ཀྱི་ཡོད། དེ་ཡང་ཀྱི་ཤུགས་དེར་སྐད་སྟིང་གི་ལས་ཚུལ་འཁྲུགས་ཡོད་ཚེ་དུས་ཡུན་སྐར་ཚ་གཅིག་ཅམ་རིང་ཀྱིས་བྱིས་པ་དེ་མཐོང་མི་ཐུབ་པར་ཐུབ་པ་རེད། དེ་ལྟར་ཀྱང་ན་འཁྲུགས་སྒྲོན་སྐོར་ཀྱི་ཚ་འཕེན་དེ་ཉིད་སྐད་སྟིང་གི་ནང་དུ་ཕྱི་ཙ་ཞེད་ལྟུག་པར་ཐྲེབ། དེ་ལ་བཞེན་ནས་དཔོན་སློབ་ཡང་དག་ཡང་ཚ་ཤས་ཆེ་མདུན་གསོ་བྱེད་ཀྱི་ཐབས་ཤེས་ཀྱི་ཐོག་ནས་ཁྱོད་ཀྱི་མི་ཐུབ་པར་ཐུབ་པ་རེད། ཁོང་ཚོས་ཀྱང་ན་འཁྲུགས་སྒྲོན་སྐོར་ཁྱོད་ཀྱི་ཐོག་ཏུ་ཐུགས་ཡིད་ཆེས་ཤོར་ཐུབ་པ་ཡིན་ནའང་ཁྱོད་ཀྱིས་ཁོང་ཚོ་ལ་ཐུགས་ཡིད་ཆེས་ཤོར་ཐུབ་པ་ཡིན་ནའང་ཁོང་ཚོས་ཁྱོད་ཀྱི་ཐོག་ཏུ་ཐུགས་ཡིད་ཆེས་ཤོར་ཐུབ་པ་ཡིན། དེ་ལྟར་ཀྱང་ན་ཁོང་ཚོས་ཁྱོད་ཀྱི་ཐོག་ཏུ་ཐུགས་ཡིད་ཆེས་ཤོར་ཐུབ་པ་ཡིན་ནའང་ཁོང་ཚོས་ཁྱོད་ཀྱི་ཐོག་ཏུ་ཐུགས་ཡིད་ཆེས་ཤོར་ཐུབ་པ་ཡིན་ནའང་ཁོང་ཚོས་ཁྱོད་ཀྱི་ཐོག་ཏུ་ཐུགས་ཡིད་ཆེས་ཤོར་ཐུབ་པ་ཡིན། དེ་ལྟར་ཀྱང་ན་ཁོང་ཚོས་ཁྱོད་ཀྱི་ཐོག་ཏུ་ཐུགས་ཡིད་ཆེས་ཤོར་ཐུབ་པ་ཡིན་ནའང་ཁོང་ཚོས་ཁྱོད་ཀྱི་ཐོག་ཏུ་ཐུགས་ཡིད་ཆེས་ཤོར་ཐུབ་པ་ཡིན།

Box 11. IN DEPTH: BALANCE ACTIVITY

Sensory systems and movements are integrated. How is balance maintained when our sensory systems are needed for performing different kinds of tasks?

- Have a friend stand on one leg with the head tilted slightly upward.
- Now have him or her look at a strip of paper with words on it as you move the paper smoothly from right to left or left to right as they try to read it. What happens?
- How does the subject's balance change if the head is not tilted or if your friend stands on two feet? Why?
- Repeat this activity with your friend standing on some foam or other very soft, giving surface.

Sensory deficits can be evaluated using balance control tasks like these. Sensory signalling shows another important biological principle, which is redundancy, or the ability of differing structures or processes to perform similar functions under certain conditions even though they may usually do different things. We discussed a prominent example of redundancy in *LSP I*, the genetic code, where several different nucleotide sequences on the DNA code for the same amino acid. Such redundancy is important for robustness and flexibility of complex systems, such as the nervous system. The redundancy in sensory signals means that deficits in one sensory system can be compensated for by another. For example, individuals with vestibular loss can compensate with visual information. However, if proprioceptive information is impaired by standing on foam and visual information is removed by closing the eyes, a person with vestibular loss can no longer maintain postural orientation.

Similarly, all the muscles required for you to then pick up the boy must be coordinated in time and space. The muscles that must contract and those that stop the contraction need to be coordinated so that they contract and relax at precisely the right time and in the right location. This gets even more complicated when you realize two things: this coordination changes as you get older and heavier and must be adjusted depending on the weight of the boy (or whatever you are picking up). The cerebellum may already have a preset regulation plan for a motor action that has been learned and stored from past experience of leaning over and picking up something like the boy. It recognizes the situation in the woods as you lean over to pick up the boy, based on information from all the internal and external receptors matched to previous experience. Then it feeds forward that stored regulated action and allows you to smoothly pick up the boy and maintain your balance the whole time.

Perhaps you can begin to see that voluntary, directed movement is highly dynamic and multisensory. Even seemingly simple actions involve an evaluation of the emotional, physical and environmental context of each

སྒྲོམ་བུ་བཅུ་གཅིག་པ། གཉིད་ཚུགས་པའི་ལྷ་ཞིབ། ང་མཉམ་གྱི་བྱེད་སྒོ།

དབང་ཚོར་མ་ལག་རྣམས་དང་འགྱུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་རྣམས་ཕན་ཚུན་སྦྲེལ་ནས་ཡོད་པས། ང་ཚོའི་དབང་ཚོར་མ་ལག་རྣམས་འགྱུལ་སྐྱོད་ལས་གཞན་པའི་བྱེད་སྒོ་གཞན་དག་འགྲུབ་དགོས་པའི་ཚེ་ལུས་ཀྱི་དོ་མཉམ་གནས་བབ་དེ་ཚུལ་ཇི་ལྟར་དུ་སྲུང་འཛིན་བྱེད་དམ་ཞེ་ན།

- རང་གི་གྲོགས་པོ་ཞིག་མགོ་བོ་ཅུང་ཟད་སྟེང་ཕྱོགས་སུ་འཁྱོག་བཞིན་དུ་རྐང་པ་གཅིག་གི་སྟེང་ལང་དུ་འཛུག་ལ།
- དེ་ལྟར་འཁོད་བཞིན་དུ་མིང་ཚིག་བཏབ་པའི་ཤོག་བུ་ཞིག་ཁྱོད་ཀྱིས་བཟུང་སྟེ་གཡས་གཡོན་གྱི་ཕྱོགས་སུ་དལ་བུས་བསྒུལ་བཞིན་དུ་གྲོགས་པོ་དེར་བཀླག་ཏུ་འཇུག་ལ། གང་ཞིག་འབྱུང་མིན་ལ་ལྟོས།
- གལ་ཏེ་གྲོགས་པོ་དེ་མགོ་བོ་མ་ཡོར་བར་གནས་པའམ། ཡང་ན་གྲོགས་པོ་དེ་རང་གི་རྐང་པ་གཉིས་ཀའི་སྟེང་དུ་ལངས་ཡོད་ཚེ་གྲོགས་པོའི་ལུས་ཀྱི་དོ་མཉམ་གྱི་གནས་བབ་ལ་འགྱུར་བ་ཇི་ལྟར་འབྱུང་མིན་ལ་ལྟོས་ལ། དེ་ལྟའི་འགྱུར་བ་བྱུང་བ་ཅིས་ཡིན་མིན་ལའང་བསམ་གཞིག་གྱིས།
- ཡང་རང་གི་གྲོགས་པོ་དེ་ཉིད་འགོལ་གདན་ནས། ཏ་ཅང་སོབ་པའི་རྟེན་གཞན་དག་གི་སྟེང་ལང་དུ་བཙུག་སྟེ་སྔར་འདྲའི་བྱེད་སྒོ་ལ་ཞུགས་སུ་འཇུག་ལ་ལྟོས།

དོ་མཉམ་ཚོད་འཛིན་ལ་དམིགས་པའི་བྱེད་སྒོ་འདི་རིགས་བེད་སྤྱད་པའི་སྒོ་ནས་དབང་ཚོར་གྱི་ཆད་སྐྱོན་དག་ལ་སྨྱུ་རིས་གཙོད་ཐུབ། དབང་ཚོར་བརྒྱུད་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་ལེན་གྱི་བྱེད་རིམ་དེས་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས་དང་འབྲེལ་བའི་རྒྱ་འཛིན་གལ་ཆེན་གཞན་ཞིག་ཀྱང་གསལ་སྟོན་བྱེད་པ་རེད། དེ་ནི་ལྟག་ཀློས་རང་གཤིས་ཞུ་བ་དེ་ཡིན་ཞིང་། རྒྱུན་དུ་བྱེད་ལས་མི་འདྲ་བ་འགྲུབ་པའི་ལུས་ཀྱི་ཆགས་བཀོད་དང་བྱེད་རིམ་དག་གིས་གནས་སྟངས་ངེས་བཟུང་འགའ་ཞིག་གི་འོག་བྱེད་ལས་རིགས་གཅིག་རང་ཞིག་འགྲུབ་པའི་ནུས་པ་དེར་ཟེར་བ་རེད། ཚེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོའི་ནང་ལྟག་ཀློས་རང་གཤིས་ཀྱི་དཔེ་མཚོན་གལ་ཆེན་ཞིག་ལ་ང་ཚོས་གྲོས་སྡུར་བྱས་ཡོད། དེ་ནི་རིགས་རྫས་གསང་བརྡ་དང་འབྲེལ་བ་སྟེ། ཊི་ཨེན་ཨེ་ཡི་སྟེང་གི་ཉིང་རྡུལ་གྲུབ་ཆའི་འཁོད་རིམ་མི་འདྲ་བ་ཁ་ཤས་ཀྱིས་ཨ་མི་ནོ་སྐྱུར་རྫས་ཀྱི་རིགས་གཅིག་རང་ཞིག་ལ་བརྡ་སྤྲིག་བྱེད་པའི་གནས་སྟངས་དེ་རེད། དེ་འདྲའི་ལྟག་ཀློས་རང་གཤིས་ནི་དབང་རྩ་མ་ལག་ལྟ་བུ་མ་ལག་རྙོག་འཛིང་ཅན་དག་གི་སྟོབས་ཤེད་དང་མཉེན་ལྕུག་རང་བཞིན་བཅས་ལ་གནད་ཆེ། དབང་ཚོར་བརྡ་འཕྲིན་དང་འབྲེལ་བའི་ལྟག་ཀློས་རང་གཤིས་འདིས་ནི་དབང་ཚོར་མ་ལག་ཅིག་གི་ཆད་སྐྱོན་རྣམས་མ་ལག་གཞན་ཞིག་གིས་གུན་གསབ་བྱེད་ཆོག་པའི་གནད་དོན་མཚོན་པ་རེད། དཔེར་ན་སྨྲུག་ལྡན་དབང་པོ་སྐྱོན་ཅན་གྱི་སྐྱེ་བོ་རྣམས་མཐོང་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་དག་གིས་གུན་གསབ་བྱེད་ཐུབ་པ་ལྟ་བུ་རེད། དེ་ལྟ་ནའང་གལ་ཏེ་འགོལ་གདན་ཞིག་གི་སྟེང་ཡར་ལངས་བའི་དབང་གིས་བབས་འགྱུར་ཆ་འཕྲིན་ལ་ཉམས་ཉེས་ཐེབ་པ་དང་། མིག་བཙུམས་པའི་དབང་གིས་མཐོང་ཚོར་ཆ་འཕྲིན་བཀག་པའི་དབང་དུ་བཏང་ན། དེ་ནས་ནི་སྨྲུག་ལྡན་དབང་པོའི་ཆད་སྐྱོན་ཐོག་པའི་དོ་བདག་སྐྱེ་བོ་དེས་རང་གི་ལུས་ཀྱི་འདུག་ལུགས་ཚུལ་མཐུན་དུ་འགྲུབ་མི་ནུས་པར་འགྱུར་བ་རེད།

དེ་བཞིན་དུ་ཐྲ་གུ་དེ་ཡར་འགྲོག་པར་མགོ་བའི་ཁྱོད་ཀྱི་ཕ་གནད་ཀུན་ཀྱང་དུས་དང་ཡུལ་གྱི་གོ་ས་གཉིས་ཀའི་ཆ་ནས་ཕན་ཚུན་འཚམ་འགྲིག་ལེགས་པོ་འགྲུབ་དགོས། དེ་ཡང་འཕྲུམ་བསྡུ་སློང་བྱེད་དང་འཕྲུམ་བསྡུ་འགོག་བྱེད་ཀྱི་ཕ་གནད་རྣམས་ཕན་ཚུན་འཚམ་འགྲིག་ལེགས་པོ་འགྲུབ་པ་ལ་བརྟེན་ནས་རྐྱོང་སྐྱུམ་གྱི་བྱ་བ་རྣམས་དུས་དང་གོ་ས་ཏག་ཏག་ལ་འགྲུབ་ཐུབ་དགོས། འདི་འབྲེལ་གྱི་གནས་དོན་གཉིས་སྐོར་ཁྱོད་ལ་རྒྱུས་ལོན་ཐོབ་ན་བྱེད་སྒོ་འདི་ཇི་ལྟར་ཆེས་རྙོག་འཛིང་ཇེ་ཆེར་འགྲོ་ཚུལ་རྣམས་ཁྱོད་ཀྱིས་ཤེས་ཐུབ། དེ་དག་ནི་དོ་བདག་སྐྱེ་བོ་དེ་ཉིད་ན་ཚོད་ཇེ་མཐོ་དང་ལུས་ཀྱི་ལྡིད་ཚད་ཇེ་མཐོར་སོང་བ་དང་མཉམ་དུ་འཚམ་འགྲིག་གི་གནས་བབ་ཀྱང་གཅིག་ཏུ་མི་གནས་པར་འཕོ་འགྱུར་འགྲོ་བ་བཅས་རེད། དེ་དང་མཉམ་དུ་གནས་བབ་དེ་ཉིད་བྱིས་པ་(དེའམ་ཡང་ན་གང་བཀུག་རྒྱུའི་དངོས་པོ་)དེའི་ལྡིད་ཚད་དང་ཡང་འཚམ་འགྲིག་བྱེད་དགོས་པ་བཅས་ཡིན། དེ་ཡང་བྱིས་པ་དེ་དང་འདྲ་བའི་དངོས་པོ་ཞིག་གི་མདུན་དུ་མར་བསྒྱུར་ཏེ་དེ་ཉིད་ཡར་བཀུག་པའི་སྔར་གྱི་མྱོང་བ་ལ་བརྟེན་ནས་ལོབས་ཤིང་ཉར་ཚགས་བྱས་ཡོད་པའི་འགུལ་སྐྱོད་འཆར་བཀོད་ལ་བརྟེན་པའི་བཀོད་སྒྲིག་བྱེད་རིམ་ཞིག་སྔ་ས་ནས་ཀླད་སྙིང་ནང་གྲུབ་གྲུབ་པར་ཡོད་ཚོག་ཅིང་། དེ་ལྟའི་སྔར་གྱི་མྱོང་བ་དང་འབྲེལ་བའི་ཕྱི་ནང་གི་སྣེ་ལེན་པ་ཀུན་ལས་སོན་པའི་ཆ་འཕྲིན་གཞིར་བྱས་ཏེ་འགུལ་སྐྱོད་འཆར་བཀོད་བྱེད་པ་དེས་ནགས་ཀླུང་དེའི་ཁྲོད་དུ་བྱིས་པ་དེ་ཡར་འགྲོག་པའི་ཆེད་དུ་ཁྱོད་ཉིད་མར་བསྒྱུར་བའི་གནས་སྟངས་དེ་ཉིད་ངོ་རྟགས་ཚོད་པ་ཡིན་སྲིད། དེ་ལྟར་ན་ཉར་ཚགས་བྱས་པའི་ཚུལ་སྒྲིག་བྱ་སྤྱོད་དེ་ཉིད་འཆར་བཀོད་དེ་ཡིས་མདུན་སྣར་གཤོམ་པར་བྱེད་ཅིང་། དེ་ལ་བརྟེན་ནས་ཁྱོད་ཉིད་འཇམ་ཆག་དང་བྱིས་པ་དེ་ཡར་བང་པ་དང་དུས་ཡུན་དེའི་རིང་ལ་ལུས་ཀྱི་དོ་མཉམ་སྲུ་མ་ཐུད་དུ་གཉེར་སྲུང་ནུས་པ་བྱུང་བ་ཡིན།

དེས་ན་བསམ་བཞིན་དུ་ཆེད་དུ་བསྒྲུབ་པའི་འགུལ་སྐྱོད་བྱ་བ་དེ་ཉིད་ཆེས་གསོན་ཤུགས་ལྡན་ལ་དབང་ཚོར་མང་པོ་འདུས་པའི་རང་བཞིན་ཅན་དུ་ཁྱོད་ཀྱིས་ཀྱང་ད་ཚོད་མཐོང་བའི་འགོ་ཚུགས་ཡོད་སྲིད་དེ། སྐབས་ཚོད་དུ་སྟབས་བདེ་ཡིན་པའི་བྱ་འགུལ་ཞིག་ལའང་གནས་སྟངས་ངེས་བཟུང་རེ་རེར་ལྟོས་པའི་སེམས་སྤྱོད་དང་། ལུས་ཁམས་དང་། ཁོར་ཡུག་སོ་སོའི་གནས་བབ་ལ་སྨྱུ་རིས་གཙོད་དགོས་ཤིང་། ནང་འདྲེན་ཆ་འཕྲིན་དུ་མ་རྣམས་ཕན་ཚུན་འཚམ་སྒྲིག་བྱེད་དགོས་པ་དང་། དེ་དག་ཀྱང་འདས་པའི་མྱོང་བ་དང་ཤེས

specific situation, integration of many inputs, and matching them with past experiences and learning. All of this is carried out in various areas of your brain, and results in finely executed motion and behaviors.

LESSONS LEARNED

Our mission to understand a walk in the woods in neuroscientific terms has taken us through many details and layers of complexity, from the physics and chemistry of how neurons work, through how they communicate, to how their combined action gathers and processes information, and produces and regulates movement and behavior. Along the way, we also have encountered big ideas, including insights about organic design—how living beings develop, survive, and evolve. Let's step back a moment to reflect on some of those insights. What fundamental principles have you discovered along the way? If none come to mind, go back through the text and see what you find. A few are mentioned below, but you can discover more yourself.

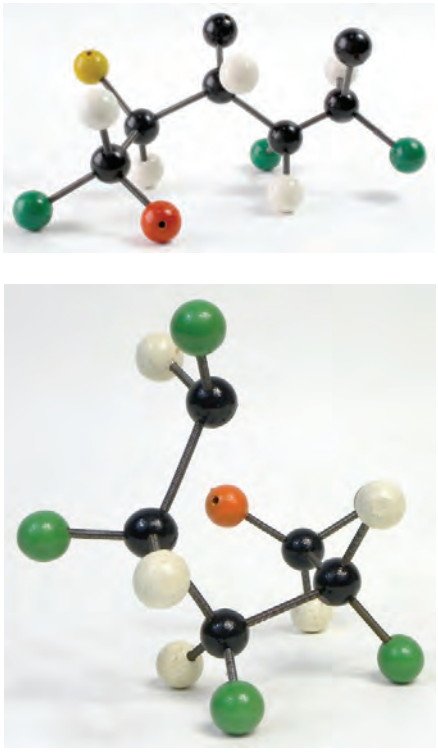


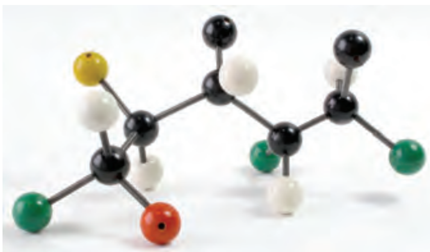
Figure 39

Few elements, great diversity: The nervous system follows a principle in the evolution of life forms that was discussed in earlier *LS* and *NS primers*: variations on a limited number of basic elements can be combined to create a wide array of forms and a related diversity of functions. Thus, neurons rely on a few elements–ions, receptors, neurotransmitters–for their activity and functions, but the diversity in these few elements allows for the enormous variety of form and function that allows us to see, think, and act. Imagine that the different colored balls in Figure 39 are different types of neurons: even in this simple example, you can see how many different arrangements can be made, with corresponding differences in activity.

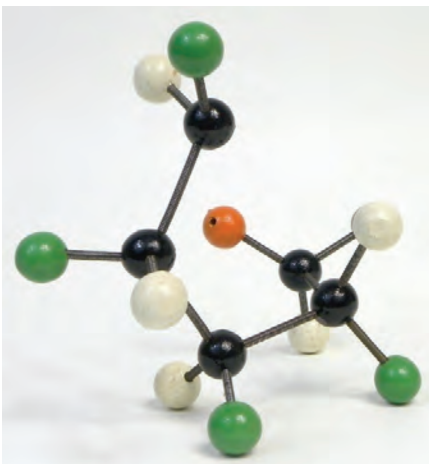
Selection: You already have learned about the evolutionary power of selection working through interactions of organisms and their environments. Selection results in differential transmission of genetic information through reproduction. It therefore acts as a mechanism for sifting existing biological diversity by keeping what works better under real-world conditions. Selection is a powerful factor within organisms as well. Such functional selection is vividly exemplified by the immune system, as is discussed in *LSP IV*. The nervous system also must solve problems of functional selection, gathering the information and directing our attention to what is important at that moment and backgrounding what is not. Thus, in our imagined walk in the woods, you immediately noticed the crying child and not the flower by the path. This lesson about neurons has included several mechanisms for

ཡོབ་དག་དང་མཚུངས་སྒྲིག་བྱེད་དགོས་པའི་ཕྱིར། བྱེད་སྒོ་འདི་ཀུན་ཁྱོད་ཀྱི་གླད་པའི་ས་ཁྲལ་མི་འདྲ་བ་དག་ཏུ་འགྲུབ་ཅིང་། དེའི་མཇུག་འབྲས་སུ་ཞིབ་ཐར་འཇུག་པའི་འགྱུལ་སྐྱོད་དང་གཞིས་སྡོད་ཀྱི་རྣམ་པ་འདི་དག་གྲུབ་པ་ལགས་སོ།།

ང་ཚོས་སྦྱངས་ཟིན་པའི་གནས་དོན་ཁག



ནགས་གླུང་ཁྲོད་དུ་གོམ་ཁ་སྤོ་བའི་བྱ་བ་དེར་དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་ལྟ་ཕྱོགས་ནས་དེའི་གནས་ལུགས་གང་ཡིན་འཚོལ་རྟོག་བྱེད་པའི་ང་ཚོའི་ལས་རྩོམ་དེས་ངེད་རྣམས་རྟོག་འཛིང་གི་བང་རིམ་སྣ་ཚོགས་དང་ཞིབ་ཕྲའི་རྣམ་གྲངས་མང་པོའི་ཁྲོད་དུ་ཁྲིད་ཡོད་ལ། དངོས་ཁམས་དང་རྫས་སྦྱོར་གནས་ལུགས་ཀྱི་ཆ་ནས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་རྣམས་ཀྱི་ལས་ཚུལ་གང་ཡིན་པ་དང་། དེ་དག་གིས་ཕན་ཚུན་བརྡ་འཕྲིན་གཏོང་ལེན་ཇི་ལྟར་བྱེད་ཚུལ། དེ་དག་གིས་མཉམ་རུབ་སྒོས་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་ཇི་ལྟར་སྡུད་ཅིང་དབྱེ་རྟོག་བྱེད་ཚུལ། མཐར་དེ་དག་གིས་འགྱུལ་སྐྱོད་དང་གཞིས་སྡོད་རིགས་ཇི་ལྟར་སྐྱེད་ཅིང་སྟངས་འཛིན་བྱེད་ཚུལ་བཅས་ལའང་ང་ཚོས་རྒྱུས་ལོན་བྱུས་ཡོད། དེའི་ཞར་དུ་ང་ཚོས་སྐྱེ་དངོས་སྲོག་ཆགས་རྣམས་ཇི་ལྟར་སྐྱེ་འཚར་བྱེད་ཅིང་འཚོ་གསོན་བྱེད་པ་དང་། དེ་དག་གིས་འཕེལ་འགྱུར་གྱི་རྒྱུད་རིམ་ཇི་ལྟར་བརྒྱུད་ཚུལ་ལྟ་བུ་སྐྱེ་དངོས་བཀོད་སྒྲིག་ཟེ་བའི་རླབས་ཆེའི་རིག་པ་དག་ལའང་འབྲེལ་གཏུགས་བྱུས་ཡོད། ད་ནི་ང་ཚོས་གོམ་གང་ཕྱིར་ཤིག་བརྒྱབ་སྟེ་གོང་དུ་གླེང་ཟིན་པའི་རིག་པ་འགའ་ཞིག་ལ་བསྐྱར་གཞིག་ཅིག་བྱའོ། །སྔོང་ཚན་འདིར་ཁྱོད་ཀྱིས་རྨང་གཞིའི་རྩ་འཛིན་གྱི་རིགས་གང་དང་གང་གསར་དུ་ཤེས་སམ། གལ་ཏེ་སྐབས་འདིར་ཁྱོད་ཀྱི་དྲན་ཡུལ་དུ་གང་ཡང་མི་ཤར་ཆེ། སློབ་དེབ་འདིར་ཕྱིར་ལྟ་ཞིག་བགྱིས་ཏེ་ཁྱོད་ཀྱིས་གང་ཞིག་ངོས་ཟིན་ཐུབ་མིན་ལ་ལྟོས། རྩ་འཛིན་དེ་དག་ལས་འགའ་ཞིག་ནི་གཤམ་དུ་ཟུར་འདོན་བྱས་ཡོད་ལ། འོན་ཀྱང་དེ་འགྲོས་རྣམས་ཁྱོད་ཀྱིས་འཚོལ་ཞིབ་བྱེད་འཐུས།



དཔེ་རིས། ༣༩

གཞི་རྫས་ཅུང་ཟད། རྣམ་འགྱུར་སྣ་མང་། དབང་རྩ་མ་ལག་གིས་ཆེ་སྲོག་འཕེལ་འགྱུར་དང་འབྲེལ་བའི་རྩ་འཛིན་ཞིག་གི་རྗེས་སུ་འབྲང་ཞིང་། རྩ་འཛིན་དེ་ནི་ཆེ་སྲོག་ཚན་རིག་དང་དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་ཕྱ་མ་རྣམས་སུ་ང་ཚོས་གྲོས་སྡུར་བྱས་པ་སྟེ། ཚད་གཞི་ཅན་གྱི་གཞི་རྩའི་རྫས་ཆ་ཡི་རྣམ་གྲངས་འགའ་ཞིག་འདུ་འཕྲོད་བྱེད་ལུགས་ལས་ཆགས་བཀོད་དང་བྱེད་ལས་ཀྱི་རྣམ་གྲངས་ཧ་ཅང་རྒྱ་ཆེན་པོ་བསྐྲུན་ཐུབ་པ་དེ་རེད། དེས་ན་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་དག་གིས་རང་རང་གི་བྱ་འགུལ་དང་བྱེད་ལས་འགྲུབ་པའི་ཆེད་གཞི་རྫས་ཀྱི་རྣམ་གྲངས་ཅུང་ཤས་ཙམ་ཞིག་སྟེ། གྱེས་རྫུལ་དང་། སྣེ་ལེན་པ་དང་། དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་བཅས་ལ་བརྟེན་པ་རེད། འོན་ཀྱང་གཞི་རྫས་ཅུང་ཟད་དེའི་རྣམ་འགྱུར་མང་བའི་ཁྱད་ཆོས་ལ་བརྟེན་ནས་ང་ཚོར་ཡུལ་མཐོང་བ་དང་། ཡུལ་ལ་སེམས་པ་དང་། ལས་ལ་འཇུག་པ་བཅས་ལ་ནུས་པ་ཅན་དུ་བྱེད་པའི་ཆགས་བཀོད་དང་བྱེད་ལས་ཀྱི་རྣམ་གྲངས་ཧ་ཅང་མང་པོ་གྲུབ་ཐུབ་པ་འབྱུང་། དཔེ་རིས་ ༣༩ ནང་གི་ཁ་དོག་མི་གཅིག་པའི་པོ་ལོ་རྣམས་དབང་རྩ་ཕྲ་གཟུགས་ཀྱི་རིགས་མི་འདྲ་བ་རེ་མཚོན་པའི་དབང་དུ་བཏང་ན། དཔེ་མཚོན་སྐབས་བདེ་འདི་ལ་བལྟས་ཀྱང་ཁྱོད་ཀྱིས་མཐོང་ཐུབ་པ་ནི། པོ་ལོའི་སྦེལ་ཚོ་རེ་རེས་བྱེད་སྒོ་བྱེ་བྲག་པ་རེ་མཚོན་དུ་བཙུག་ཀྱང་པོ་ལོ་དེ་དག་ཕན་ཚུན་སྦེལ་ཚུལ་མི་གཅིག་པའི་རྣམ་གྲངས་ཇི་འདྲའི་མང་པོ་བྱེད་དུ་ཡོད་པ་དེ་རེད།

འདེམས་སྒྲུག འཕེལ་འགྱུར་རྣམ་གཞག་ནང་གི་འདེམས་སྒྲུག་གི་ནུས་ཤུགས་དེས་སྐྱེ་དངོས་དང་ཁོར་ཡུག་དབར་འགྲུབ་པའི་སྦྲེལ་སྦྱོར་སྣ་ཚོགས་པའི་ཁྲོད་དུ་བྱེད་ནུས་འདོན་ཚུལ་སྐོར་ཁྱོད་ཀྱིས་སྔར་ནས་སྦྱངས་ཟིན་ལ། དེ་ལྟའི་འདེམས་སྒྲུག་བྱ་བའི་མཇུག་འབྲས་སུ་སྐྱེ་འཕེལ་བྱེད་རིམ་བརྒྱུད་ནས་རིགས་རྫས་ཆ་འཕྲིན་འདྲེན་གཏོང་བྱེད་ཚུལ་གྱི་ཁྱད་པར་མང་པོ་ཕྱིར་འཐོན་གྱི་ཡོད། དེས་ན་འདེམས་སྒྲུག་བྱ་བ་དེས་སྐབས་འབྲེལ་གྱི་འཛིག་རྟེན་དངོས་ཡོད་གནས་སྟངས་འོག་སྐྱེ་དངོས་གང་དག་འཕྲོད་ཆེ་བ་དེ་ཉིད་ཉར་ཚགས་བྱེད་པའི་སྒོ་ནས་ཡོད་རྒྱུའི་ཁྲོད་དུ་དབྱེ་བསལ་བྱེད་པའི་ཐབས་འཕྲུལ་ཞིག་གི་ཚུལ་དུ་ལས་དོན་འགྲུབ་པ་རེད། འདེམས་སྒྲུག་བྱ་བ་འདི་ནི་སྐྱེ་དངོས་ཀྱི་ནང་ཚའི་ཁྱོན་དུ་འང་བྱེད་པ་ཆེ་བའི་ཆ་རྐྱེན་ཞིག་ཡིན་ཞིང་། དེ་ལྟར་དུ་མཐུན་འཕྲོད་གཞི་ལ་བྱུས་པའི་འདེམས་སྒྲུག་གི་བྱེད་ཤུགས་དེ་ནི་ཆེ་སྲོག་ཚན་རིག་གི་སྔོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་བཞི་པའི་ནང་གྲོས་སྡུར་བྱུས་པའི་ནད་འགོག་མ་ལག་གི་ལས་ཚུལ་བརྒྱུད་མངོན་གསལ་དུ་བསྟན་ཡོད། མ་ཟད་དབང་རྩ་མ་ལག་གིས་ཀྱང་མཐུན་འཕྲོད་གཞིར་བཞག་པའི་འདེམས་སྒྲུག་བྱ་བ་འགྲུབ་པར་འཕྲད་སྲིད་པའི་འགལ་རྐྱེན་རྣམས་སེལ་དགོས་ཤིང་། དེ་ལྟར་བྱེད་ཚུལ་ནི་སྐབས་བསྟུན་གནད་ཆེ་བའི་ཆ་འཕྲིན་རྣམས་བསྡུ་རུབ་བྱེད་ཅིང་དེ་དག་ལ་དོ་བདག་སྐྱེ་བོའི་བློ་ཁ་གཏོད་དུ་འཇུག་དགོས་པ་དང་། གཞན་རྣམས་ཅམ་འཇོག་བྱེད་དུ་འཇུག་དགོས་པ་ཡིན། དེར་བརྟེན་ང་ཚོས་ནགས་གླུང་ཁྲོད་ལྡོངས་རྒྱུར་བསྐྱོད་པའི་རྟོག་འཆར་བསྐྱེད་པའི་ནང་ཟུད་མོ་བྱེད་ཀྱིན་པའི་བྱིས་པ་དེ་ཁྱོད་ཀྱིས་འཕྲུལ་མར་མཐོང་གི་གཞན་ལམ་ཟུར་གྱི་མེ་ཏོག་སོགས་མ་མཐོང་བ་རེད།

selection, such as summation, thresholds, and receptive fields. Keep this principle in mind, as we will see the power of functional selection in later primers as well.

Transduction: How can we know something about the world and respond appropriately to it? A key is to convert external signals into biological signals, or transduction. In *NSP I* you learned that organisms have evolved elaborate methods for transduction, and in this lesson you learned how they do it. Figure 40 summarizes the transduction process from light waves entering the eye to perception of a face in the brain. In the nervous system, sensory cells turn physical stimuli (light waves, pressure) into electrical signals (action potentials). Then, these neurons convert electrical signals to chemical signals that communicate with other neurons by releasing neurotransmitters, at the nerve terminal. The receiving neuron converts chemical signals back to electrical signals through shifts in its membrane potential. These basic physical processes allow us to sense and respond, to see a crying child and rush to it.

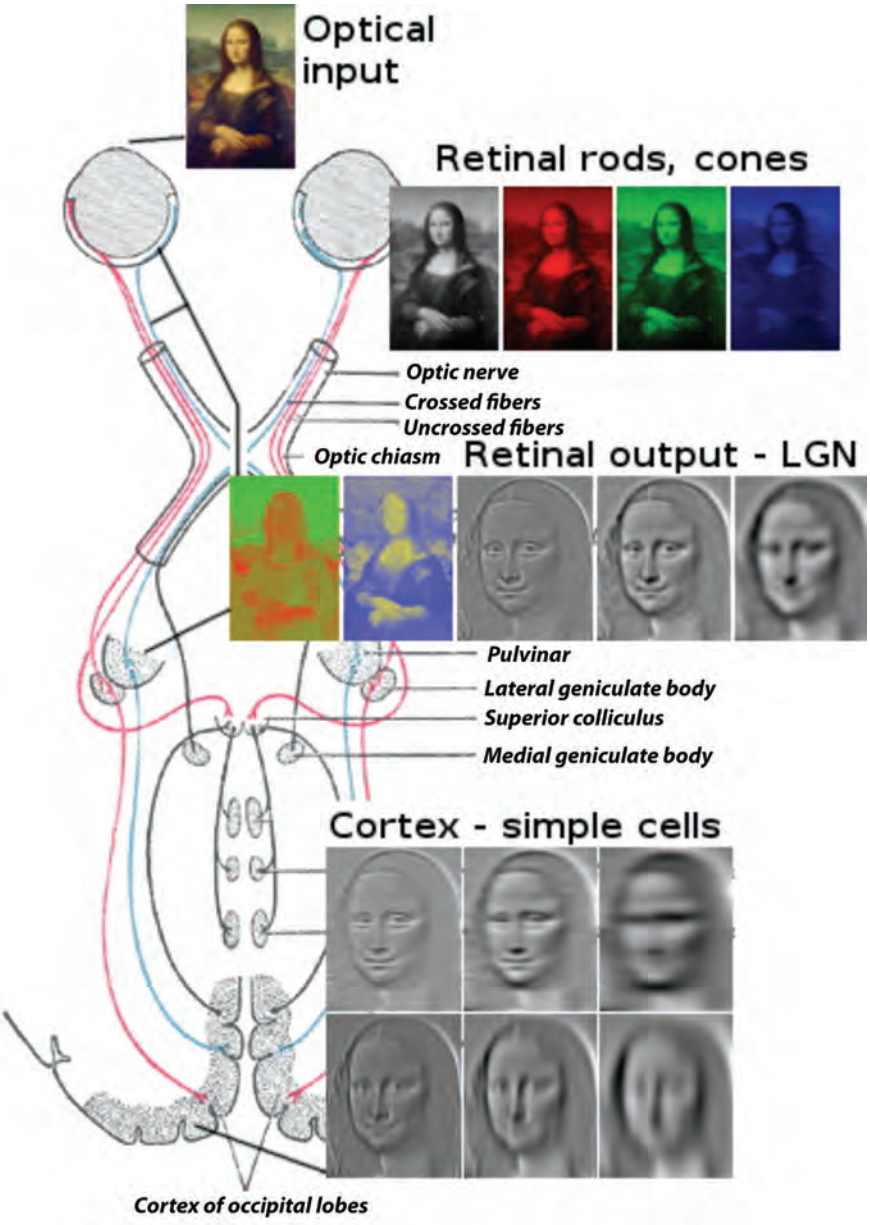
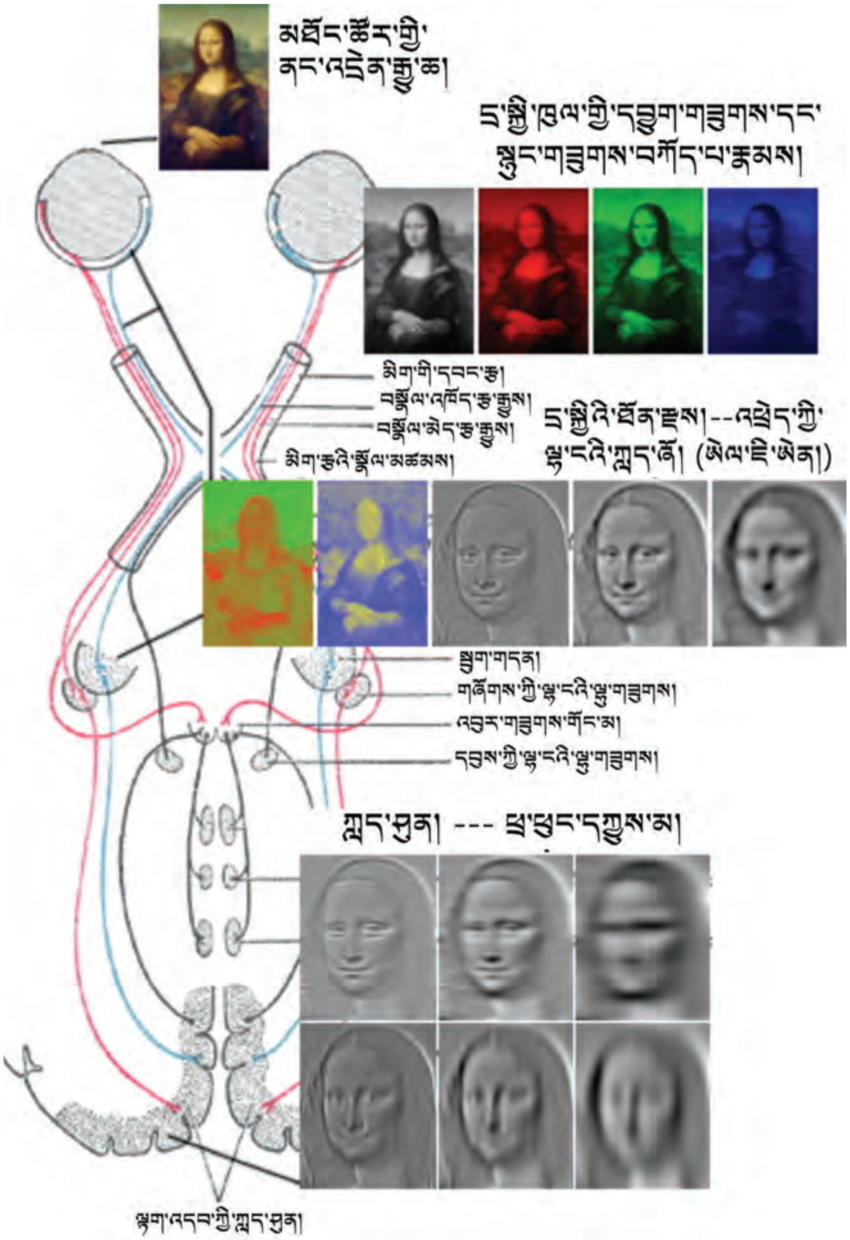


Figure 40: From outside to inside: steps in visual processing.

Regulation: Survival of living organisms requires continual work to maintain the conditions necessary for staying alive. Your body must regulate temperature, water balance, and nutrients, and motivate behaviors such as putting on a sweater, drinking water, or getting food. Living systems therefore must build in layers of regulation such as feedback and feedforward interactions. Paying attention to these regulatory pathways can reveal important clues to how a system works–what it is designed to do–and what may cause it to have problems or break down. This lesson covers two important forms of regulation, feedback and feedforward. What do the



དཔེ་རིས། ༩༠ ལུས་ཀྱི་ཕྱི་ལོགས་ནས་འགོ་བཙམས་ཏེ་ནང་གི་ཕྱོགས་སུ་རིམ་གྱིས་འགྲུབ་པའི་མཐོང་ཚོར་བྱ་བའི་རྒྱུད་རིམ།

གཞན་ཡང་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་སྐོར་གྱི་ལེ་ཚན་འདིར་ཕྱོགས་བསྡོམས་བྱ་བ་དང་། ཐེམ་མཚམས་གནས་བབ། སྣེ་ལེན་ཁྲབ་ར་ལྟ་བུ་འདེམས་སྒྲུག་བྱ་བའི་ཐབས་འཕྲུལ་སྣ་མང་སྐོར་གཏམ་བཤད་བྱས་ཡོད། སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་ཕྱི་མ་རྣམས་སུ་འང་མཐུན་འཕྲོད་གཞིར་བཞག་པའི་འདེམས་སྒྲུག་བྱ་བའི་ཉུས་པའི་སྐོར་གླེང་སློང་བྱ་རྒྱུ་ཡིན་པས། རྩ་འཛིན་འདི་ཁྱོད་ཀྱིས་ཡིད་འཛོག་བྱེད་རིགས་སོ།།

བརྡ་སྒྱུར་བྱེད་རིམ། ཕྱིའི་འཇིག་རྟེན་སྐོར་གྱི་གནས་ཚུལ་ཞིག་ང་ཚོས་ཤེས་རྗེས་དེར་རང་འཚམ་གྱི་ཡ་ལན་ཇི་ལྟར་སྤྲོད་དམ་ཞེ་ན། བྱ་བ་འདི་འདྲར་ནི་ཕྱིའི་བརྡ་འཕྲིན་དེ་དག་སྐྱེ་དངོས་བརྡ་འཕྲིན་དུ་ཚུར་ཁ་སྒྱུར་བཏང་རྒྱུ་དེ་གནད་ཀྱི་དོན་པོ་ཡིན་ལ། འདི་ལ་བརྡ་སྒྱུར་བྱེད་རིམ་ཟེར་བ་རེད། དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྟོན་འགྲོའི་སློབ་དེབ་དང་པོའི་ནང་འཕེལ་འགྱུར་བྱུང་རབས་བརྒྱུད་སྐྱེ་དངོས་དང་འབྲེལ་བའི་གཞི་རྒྱ་ཆེ་བའི་བརྡ་སྒྱུར་གྱི་ཐབས་འཕྲུལ་དེ་འདྲ་འཕེལ་རྒྱས་བྱུང་ཡོད་པ་ཁྱོད་ཀྱིས་ཤེས་ཡོད་ལ། ལེ་ཚན་འདིར་ནི་ཐབས་འཕྲུལ་དེ་རིགས་ཇི་ལྟར་འཕེལ་འགྱུར་འབྱུང་ཚུལ་ཁྱོད་ཀྱིས་ཤེས་ཡོད། དཔེ་རིས་ ༩༠ ནང་འོད་ཀྱི་རླབས་ཕྲེང་དེ་འདྲ་སྐྱེ་བོའི་མིག་ནང་ཞུགས་པ་ནས་འགོ་བཙམས་ཏེ་མཐར་སྐྱེ་བོ་དེའི་ཀླད་པའི་ནང་སྐྱེ་བོ་གཞན་གྱི་ངོ་གདོང་ཤེས་པའི་འདུ་ཤེས་སྐྱེ་ཚུལ་ཏེ། བརྡ་སྒྱུར་བྱེད་རིམ་གྱི་སྙིང་བསྡུས་ཤིག་མཚོན་འགྲེལ་བྱས་ཡོད། དབང་རྩ་མ་ལག་གི་ནང་དབང་ཚོར་ཐ་ཕུང་དག་གིས་(འོད་རླབས་དང་གནོན་ཤུགས་ལྟ་བུ་)ཕྱིའི་སྐུལ་རྐྱེན་རྣམས་གློག་བརྡའི་(ལས་འདུག་ནུས་པའི་)ངོ་བོར་སྒྱུར་བར་བྱེད་ལ། དེ་ནས་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་འདི་དག་གིས་གློག་བརྡ་དེ་དག་རྫས་འགྱུར་བརྡ་འཕྲིན་གྱི་ངོ་བོར་བསྒྱུར་བས། འདི་དག་གིས་དབང་རྩའི་མཐུག་སྣེ་དག་ཏུ་དབང་རྩ་འཕྲིན་པ་དེ་འདྲ་གློད་འདོན་བྱེད་པ་བརྒྱུད་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་གཞན་དག་དང་བརྡ་ལན་གཏོང་ལེན་བྱེད་པ་རེད། བརྡ་འཕྲིན་འཕྱོར་སའི་དབང་རྩ་ཐྲ་གཟུགས་དག་གིས་རང་གི་སྐྱི་མོའི་ནུས་པའི་ནང་འགོ་འགྱུར་བང་རིམ་བརྒྱུད་རྗེས་སུ་ཕྱིར་གྱི་རྫས་འགྱུར་བརྡ་འཕྲིན་རྣམས་སླར་ཡང་གློག་བརྡའི་ངོ་བོར་སྒྱུར་བ་རེད། ལུས་ཀྱི་རྨང་གཞིའི་བྱེད་རིམ་འདི་དག་ལ་བརྟེན་ནས་ང་ཚོས་ཡུལ་ཚོར་བ་དང་དེ་ལ་ཡ་ལན་སྤྲོད་པ་སྟེ། དུད་མོ་བྱེད་བཞིན་པའི་བྱིས་པ་མཐོང་བ་དང་། དེའི་ཕྱོགས་སུ་རྒྱུག་ནུས་པ་བཅས་བྱུང་བ་རེད།

སྣང་ས་འཛིན་ནས་བཀོད་སྒྲིག་བྱ་བ། འཚོ་བཞིན་པའི་སྐྱེ་དངོས་རྣམས་གསོན་པོར་གནས་པར་ནི་འཚོ་བའི་མཐུན་རྐྱེན་རྣམས་སུ་མཐུད་དེ་འགྲོར་བར་འབད་རྩོལ་གྱི་རྒྱུན་འཛུགས་དགོས། དེ་ནི་ཁྱོད་ཀྱི་ལུས་པོས་དྲོད་ཚད་དང་། ཆུའི་སྙོམ་ཚད་དང་། འཚོ་བཅུད་བཅས་ལ་སྣང་ས་འཛིན་ཚུལ་མཐུན་བྱེད་དགོས་པར་མ་ཟད། སྐབས་སོ་སོར་སྙིང་གསོས་ཀྱིན་པ་དང་། ཆུ་འཐུང་བ། ལྟོ་ཟ་བ་ལྟ་བུའི་བྱེད་སྒོ་ལ་ཞུགས་པའི་སྐུལ་སློང་ཡང་མ་ཆད་པར་བསྐྱེད་དགོས་པ་ཡིན། དེས་ན་འཚོ་བྱེད་མ་ལག་དག་ལ་ལྡོག་གསོ་དང་མདུན་གསོའི་སྒྲིལ་སྐོར་ལྟ་བུ་སྣང་ས་འཛིན་གྱི་བྱེད་པའི་བང་རིམ་མང་པོ་ཚང་དགོས་ལ། འདི་ལྟའི་བཀོད་སྒྲིག་གི་བརྒྱུད་ལམ་རྣམས་ལ་ཞིབ་གཅོད་བྱེད་པ་ལ་བརྟེན་ནས་མ་ལག་ཅིག་གི་ལས་ཚུལ་དང་འབྲེལ་བའི་གནད་འགག་ངོ་སྤྲོད་པར་ཕན་ཐོགས་ཡོད། དེ་ནི་མ་ལག་དེ་ཉིད་ཀྱིས་བྱེད་ལས་ཅི་ཞིག་ཐེག་མིན་ཤེས་པ་ལ་ཟེར། དེ་བཞིན་དུ་མ་ལག་དེར་རྒྱུ་གང་གིས་ཉམས་ཉེས་གཏོང་བའམ། ཡང་ན་གང་གིས་ཞིག་སྐྱོན་གཏོང་མིན་ཤེས་པར་ཡང་ཕན་ཐོགས་ཡོད། ད་ལམ་གྱི་ལེ་ཚན་འདིས་བཀོད་སྒྲིག་བྱེད་རིམ་གལ་ཆེའི་རིགས་གཉིས་སྐོར་གླེང་སློང་བྱེད་ལ། དེ་དག་ནི་ལྡོག་གསོ་དང་མདུན་གསོ་གཉིས་རེད། དེ་ལས་ལྡོག་གསོ་བྱེད་རིམ་གྱི་ནང་གསེས་རྣམ་འགྱུར

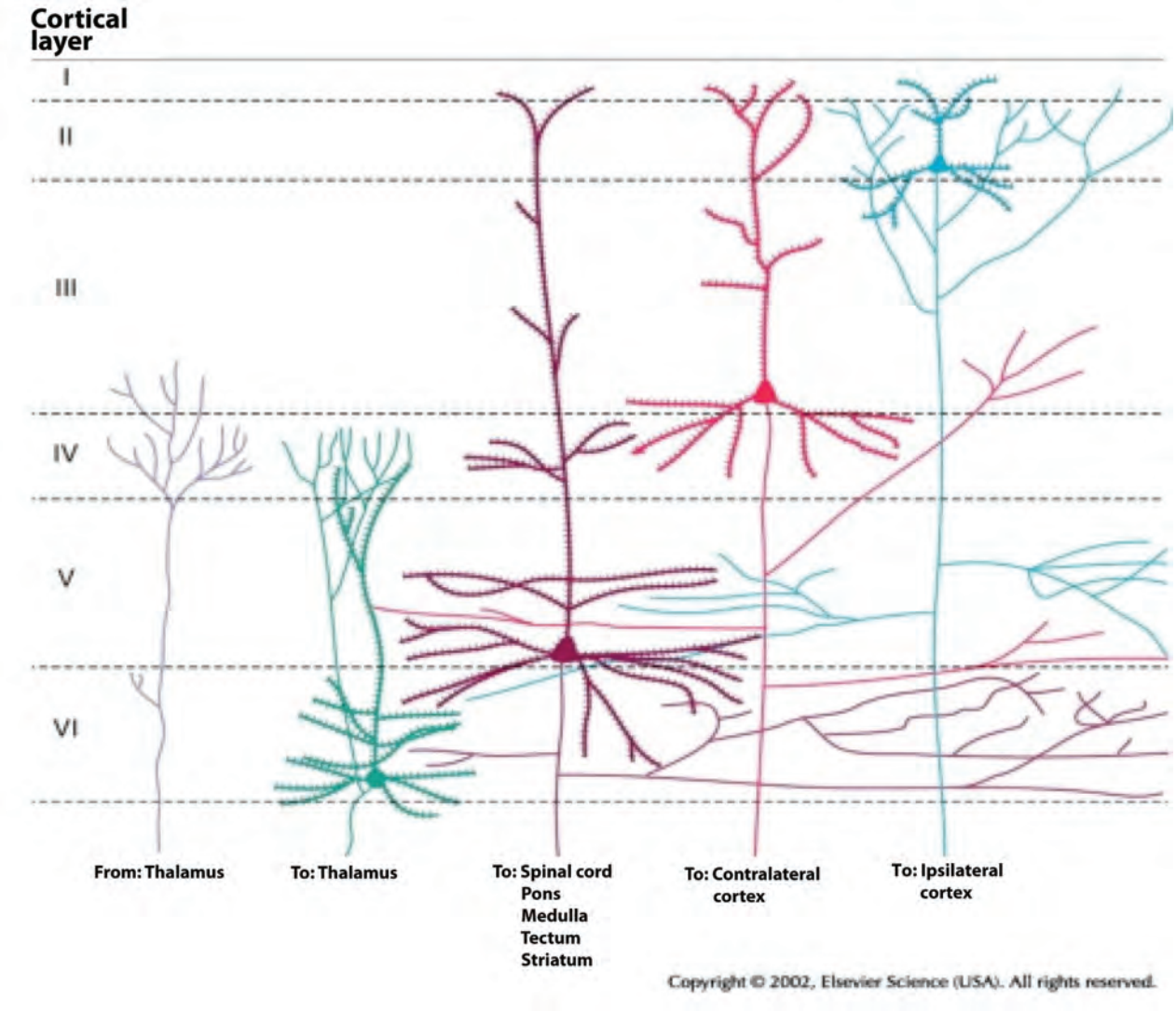
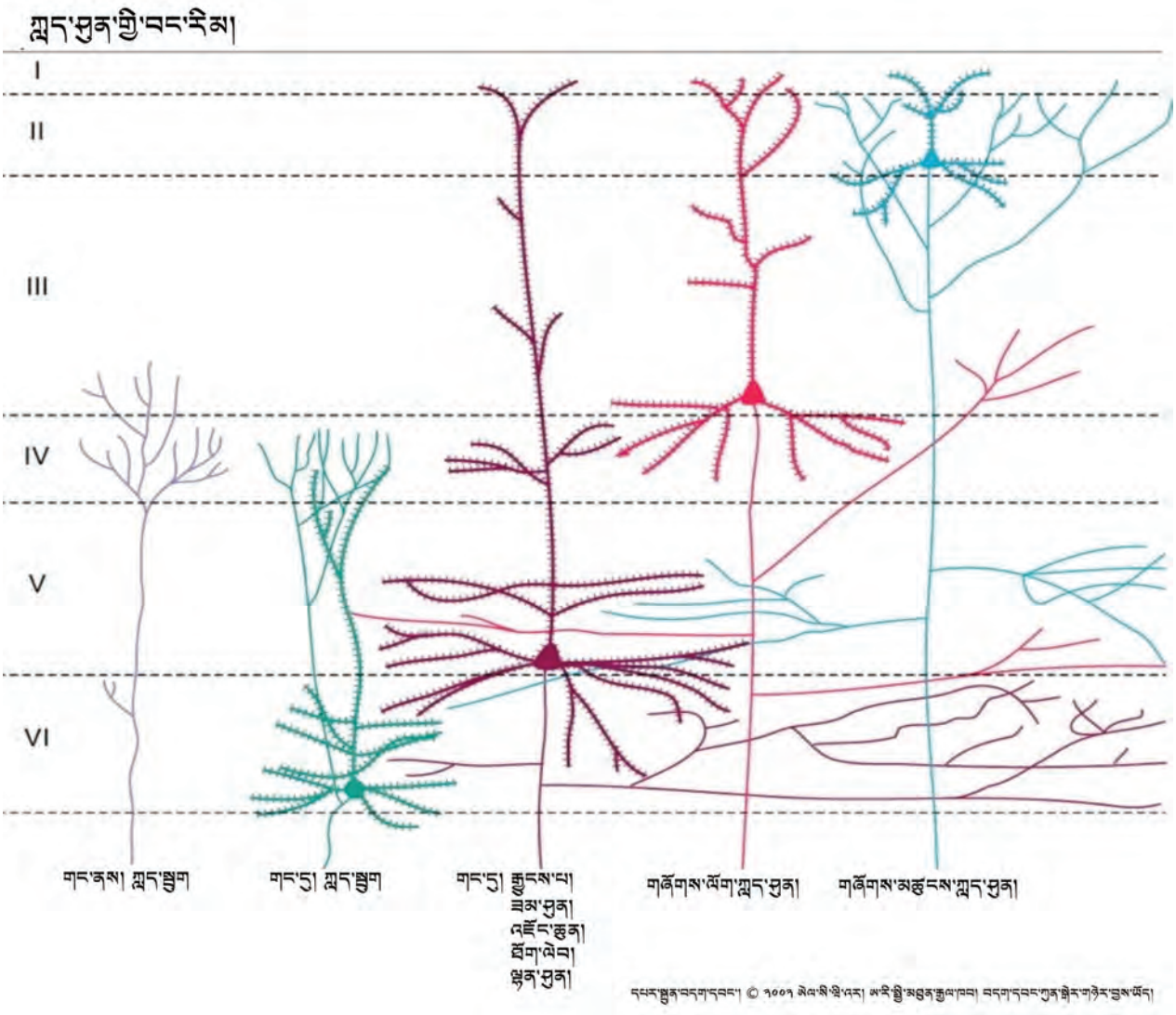


Figure 41: Cell types in the cerebral cortex.

differences in the two forms of feedback tell us about the kinds of survival problems that regulation aims to solve? How does feedback regulation help? What might be the advantages of feedforward regulation?

Form and function: Neurons are the basic units of the nervous system. But the differences in structure among types of neurons determines their function to a large degree. Figure 41 shows different types of neurons in the brain's surface layers, or cortex. More subtly, the fine structure of an individual neuron–the number and placement of synapses from other neurons, and the number and placement of its connections with receiving neurons–also determines its function. We have seen that neuronal plasticity in connectivity with other cells, particularly among neurons, is a distinctive feature of the nervous system. We will learn more about the importance of neuronal plasticity in *NSP III*.



དཔེ་རིས། ୧୨ སྐྱ་ཆེན་སྐད་ཀུན་ཚོོན་གྱི་ཐ་ཟུང་གི་རིགས།

གཉེས་པོའི་ཁུང་བར་ལས་བགོོད་སྤྱིག་བྱེད་རིས་གྱི་བསལ་བྱར་གྱུར་བའི་འཚོ་བའི་བར་ཚད་ཐད་ངོོར་ཚོུ་སྐོོ་གང་ཞིག་སྤྱི་ན་ནས། ལོོག་གསོོ་བགོོད་སྤྱིག་གིས་ངོོར་བནས་ཐོགས་རྟེ་ཡུར་བྱེད་དས། མདུན་གསོོ་བགོོད་སྤྱིག་གི་དགེ་མཚན་གང་དག་ཡིན་ནས།

ཚགས་བགོོད་དང་བྱེད་ལས། དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས་རྣམས་ནི་དབང་རྩ་མ་ལག་ཡོངས་ཀྱི་རྣང་གཞིའི་སྟེ་ཚན་དེ་ཡིན། དེ་ཡུར་ནཚང་སྤྱི་ཐོག་ནས་བཤད་ན་དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས་དག་ལ་ནང་གསེས་ཚགས་བགོོད་སི་འཛ་བ་ཡོད་པ་དེས་དེ་དག་སོ་སོའི་བྱེད་ལས་གང་ཡིན་དེས་གཏན་བྱེད་པ་རེད། དཔེ་རིས་ ୧୨ གིས་སྐྱ་ཤུན་ནས་སྐྱ་པའི་ཁུད་ངོས་རིས་བར་ཚགས་པའི་དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས་ཀྱི་རིགས་མི་འདྲ་བ་རྣམས་མཚོོན་ལྟེལ་བྱེད་ཡོད། རྒྱུ་ཟད་ཞེབ་ཚགས་སུ་བྱས་ན། དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས་ཁེར་རྒྱང་པ་ཞེག་གི་ཚགས་བགོོད་ཐུ་མོ་སྟེ། དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས་གཞན་ཞེག་རྒྱས་གཅོད་ཐུ་མོ་སྟེ། དེ་བཞིན་དུ་རང་སྤྱོགས་ནས་དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས་གཞན་དག་ལ་ཡར་ཁ་གཏད་པའི་དབང་རྩའི་མ་ཐུད་ཀྱི་ཤུན་ཏུ་ཡོད་པ་དེས་ཀྱང་སྤྱོགས་ནས་དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས་ཀྱི་བཅས་ཁྱད་ཡོད་པ་རེད། ས་ཐད། ཐུ་ཟུང་གཞན་དག་དང་མཐུད་སྤྱོོར་བྱེད་པའི་གནས་སྐབས་དང་། ལྷག་པར་དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས་ནང་ཁན་ཚུན་ཀྱི་མཐུད་སྤྱོོར་གནས་སྐྱབས་ཁོོད་དུ་ཆེད་པའི་དབང་རྩའི་འཁྲུར་གཡེན་ཀྱི་རང་ཨོོང་མིན་ཐུ་ཟུང་ཚོོས་ཤེག་ཡིན་པར་ངང་ཚོོས་མཐོང་ཡོད། དེ་ལྟའི་དབང་རྩའི་འཁྲུར་གཡེས་ཀྱི་གལ་གནད་སྐོོར་དབང་རྩ་ཚན་རིག་གི་སྟོོན་འཛོོའི་སློབ་དེབ་གསུམ་པའི་ནང་ངོོས་དུ་དུང་རྒྱུས་ལོོན་པར་བ་བྷ་ཡིན།

FULL CIRCLE

So much about what it means to be human is implicit, embedded in our capacity to be aware, perceive, learn, feel and move. These basic capacities are essential for us to be able to perform more complex functions, such as acts of compassion. In this text we have explored one of the biological substrates that allow us to have these capacities—our nervous systems—from the actions of single neurons to the coordinated communication of the whole brain, from ions to movement and complex behavior.

Do we need to know all this biology to truly experience the richness of our lives? Certainly not. But understanding our biology, our brains, and our thinking gives us both more hope of helping those who have deficits in their neural abilities, as well as a deeper appreciation of what it means to be human.

In the next primer we will build on the lessons we learned here. In particular, the focus will be on emotions, with an attempt to characterize what emotions are and how they are manifested in the brain and body. With this discussion we will look more closely at the systems at work when you found the lost child, for such a situation both prompted an emotional response from you and involved reading the emotions of the child. As we will see, the two processes – feeling emotions and understanding the emotions of others - are integrally related. Consistent with previous lessons, understanding the basic systems involved in emotion and emotion understanding will to a large extent involve an understanding of what happens when these systems go awry, in this case, in afflictions of emotion such as depression, anxiety, and addiction. Your understanding of neurotransmitters will be crucial for this discussion.

In later lessons we will return to the basic processes involved in action potentials and in neuronal synchrony, as we will begin to think about how the brain regulates arousal. We will ask how the brain is functionally and structurally connected on a large scale in ways that allow the entire brain to work in concert, and we will again visit the microscopic level of neurotransmitters to understand sleep, stress, and pain. Again and again we will return to the basic mechanisms learned here that fundamentally govern the thoughts, emotions, and behaviors that make us human.

སྒོང་བཤད་ཀྱི་མཇུག་ཐོག་བ།

མི་ཞིག་མིར་བྱེད་བའི་བྱེད་ཚོས་དག་ནི་དེ་ཙམ་མངོན་གསལ་མེད་པར་སྣང་བའི་ཚུལ་དུ་གནས་ཡོད། དེ་ནི་མིར་ཡ་སྐྱེས་སུ་ཡོད་བའི་ཁྱད་ཚོས་དེལར་ནཤེས་ཤིང་རིག་པ་དང་། འདུ་ཤེས་པ། ཚོར་ཅིང་ཚོར་བ་དང་། འགུལ་སྐྱོད་བྱེད་བའི་ནུས་པ་བཅས་ཀྱི་སྣང་སུ་ཚུད་ཡོད། གཞི་རིས་ཀྱི་ནུས་པ་འདི་དག་ནི་ངར་སྣོང་རྡེའི་ལས་ལ་བྱ་བྱེད་ལས་སྐྱེས་འཕྲོ་ཆ་ནས་ཤུགས་ཚད་དགོས་པ་དག་ཀྱང་ཡིན། སློབ་དེབ་འདིའི་ནང་ངཚོའི་ནུས་པའི་རིགས་ཏེ། དབང་རྩ་ཐ་ཟུགས་ཁེར་ཀྱང་ཞིག་ལ་ལུས་ཀྱི་དབྱིབས་སུ་འགྱུར་བའི་གོ་རིམ་ལྟར་བའི་བརྒྱུད་འཕེལ་གྱིང་ལེན་བྱ་བ་དང་། ཡང་ན་གྲེས་རྒྱལ་ནུས་ཤིག་ལ་སྐྱོད་ཚུལ་ལས་ཁམས་སྐྱེད་ཆེ་བ་རྣམས་སྐྱབ་པར་དེས་པར་ཚང་དགོས་པ་དག་ཀྱང་ཡིན། སློབ་དེབ་འདིའི་ནང་ངཚོའི་ནུས་པའི་རིགས་ཏེ། དབང་རྩ་ཐ་ཟུགས་ཁེར་ཀྱང་ཞིག་ལ་ལུས་ཀྱི་དབྱིབས་སུ་འགྱུར་བའི་གོ་རིམ་ལྟར་བའི་བརྒྱུད་འཕེལ་གྱིང་ལེན་བྱ་བ་དང་། ཡང་ན་གྲེས་རྒྱལ་ནུས་ཤིག་ལ་འགུལ་སྐྱོད་དང་རྟོག་ཞིབ་ཆེ་བའི་གཤིས་སྤྱོད་བར་ཤྱི་ནུས་པ་རྣམས་ཀྱི་ནང་ནས་ཁོང་ཚོའི་ལས་ཀའི་ཐེན་གཞི་མང་པོའི་ནང་ནས་གཅིག་ལ་ང་ཚོའི་ཤུགས་ལོན་བྱེད་པའི་ལུས་ཁམས་ཀྱི་རྟེན་གཞི་མང་པོའི་ནང་ནས་གཅིག་ཡིན།

མི་ཚེའི་རྒྱུན་ཚོགས་ཉམས་སུ་སྤྱོད་བར་ང་ཚོས་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས་འདི་ཀུན་དེས་བར་ཤེས་དགོས་པ་ཡོད་དམ་ཞེ་ན། ཅིས་ཀྱང་མེད་ལ། དེ་ལྟར་ནཡང་ང་ཚོའི་ལུས་ཁམས་གནས་ལུགས་དང་། ང་ཚོའི་སྐད་པ་དང་། ང་ཚོའི་བསམ་སྤྲོའི་འགྲོ་ལུགས་སྐོར་གང་ཞེག་ཤེས་པས་ནི་དབང་རྩའི་ནུས་པ་སྤྱོད་ཅན་གྱི་སྐྱེ་བོ་རྣམས་ལ་ཁན་པ་བསྒྲུབ་པའི་དེ་ན་མཐོར་འདེགས་བྱེད་ལ། དེ་དང་ཆབས་ཅིག་འདི་ལ་བརྟེན་ནས་རང་ཉིད་མིར་བྱེད་བའི་བྱེད་ཚོས་དག་གི་སྐོར་ང་ཚོར་གོ་རྟོགས་གཏིང་ཟབ་ལོན་པར་ཡང་ཁན་ལ་ཡོད།

སྤོན་འཕྲོའི་སློབ་དེབ་རྩེ་མའི་ནང་ང་ཚོས་འདིར་སྒྲུབས་པའི་ཉེ་ཚན་རྣམས་སྤུ་མཐུད་དེ་མཇུག་སྤྱོང་བྱ་རྒྱུ་ཡིན་ལ། བྱེ་བག་ཏུ་ང་ཚོས་མེམས་ཤྲོང་ཐོག་དམིགས་བསྡུགས་ཏེ་ཞིབ་ལྟ་བྱེད། །དེ་ཡང་མེམས་ཤྲོང་གི་ཁྱད་ཚོས་ངོས་བཟུང་བ་དང་། དེ་དག་སྐད་པ་དང་ལུས་སྒེང་རྡེ་ལྟར་མངོན་དུ་གྱུར་ཚུལ་བཅས་ལ་དམིགས་འཇུག་ས་ཡིན་ཞིབ་ལྟ་བྱེད། །འདི་སྐོར་ཐོག་སྤྱད་བྱེད་སྐབས་ང་ཚོས་སྤྱད་ཀྱི་བྱེས་པ་དེ་ཐོག་མར་རྟེད་དུས་དང་འབྲེལ་བ་ཡོད་པའི་ལུས་ཁམས་མ་ལག་དག་ལ་ཞིབ་ལྟ་དགོས་བར་འཀྱུར་ཏེ། གནས་སྐབས་དེས་ཁྱོད་ཀྱི་རྒྱུད་ལ་མེམས་ཤྲོང་གི་ཚོར་བ་བསླངས་བར་མ་ཟད། དེས་བྱེས་པའི་མེམས་ཤྲོང་གི་ཚོར་བར་ཡང་རྒྱས་འགྲོལ་བྱེད་པར་ལྟ་དགོས། ང་ཚོས་བྱེས་སུ་མཐོང་འགྱུར་བཞིན། རང་རྒྱུད་ཀྱི་མེམས་ཤྲོང་ཉམས་སུ་ཤྲོང་བ་དང་གཞན་རྒྱུད་ཀྱི་མེམས་ཤྲོང་ཐད་གོ་རྟོགས་སར་བ་སྟེ། བྱེད་དེས་འདི་གཉིས་པོ་ནི་ཁན་ཚུན་དམ་པོར་སྦྲེལ་ནས་ཡོད། ལེ་ཚན་སྡ་མ་རྣམས་དང་རྟེས་མ་ཐུན་པར། འདིར་ཡང་མེམས་ཤྲོང་དང་མེམས་ཤྲོང་གྱི་གོ་རྟོགས་བཅས་དང་འབྲེལ་བའི་གཞི་རིམ་གྱི་ལུས་ཁམས་མ་ལག་རྣམས་ལ་རྒྱུ་ལས་ལོན་བྱེད་མེམས་ཤྲོང་ཐོག་ནས་ཁོང་ཚོའི་ཁྱད་ཚོས་ཀྱི་ཐ་དད་ཀྱང་ཡོད་ཚུལ་ཤེས་ཐུབ་པར། འདིར་ཡང་མེམས་ཤྲོང་དང་མེམས་ཤྲོང་གྱི་གོ་རྟོགས་བཅས་དང་འབྲེལ་བའི་གཞི་རིམ་གྱི་ལུས་ཁམས་མ་ལག་རྣམས་ལ་རྒྱུ་ལས་ལོན་བྱེད་ལ་ཡོད་པའི་ཁྱད་ཚོས་ཀྱི་ཐ་དད་ཀྱང་ཡོད་ཚུལ་ཤེས་ཐུབ་པར་ཡང་ཁན་ལ་ཡོད། དེ་ནི་སྐབས་འདིར་སྒྲུབ་ནས་ཡོད་ཅིང་ཁྱད་ཚོས་ཀྱི་ད་ལྟའི་ཚེ་ཁོ་ནར་ཡོད་ཚུལ་ཤེས་ཐུབ་པ་ཙམ་ཡིན། ཡང་ན་ཁྱོད་ཀྱི་ཚེ་ཁོ་ནར་ཡོད་ཚུལ་ཤེས་ཐུབ་པ་ཙམ་ཡིན། ཡང་ན་ཁྱོད་ཀྱི་ཚེ་ཁོ་ནར་ཡོད་ཚུལ་ཤེས་ཐུབ་པ་ཙམ་ཡིན།

རིང་མིན་ང་ཚོས་སྐད་པས་སང་སློང་བྱ་བར་སྐྱབས་འཛིན་རི་ལྟར་བྱེད་ཚུལ་སྐོར་བསམ་གཞིག་བྱ་རྒྱུ་ལགས་པས་འདི་ཚུན་ཚད་ཀྱི་སློབ་ཚན་རྩེ་མ་རྣམས་སུ་ལས་འདྲུག་ནུས་པ་དང་། དབང་རྩ་ཐ་ཟུགས་ཀྱི་ཐུག་བའི་སྐོམ་སྤྲིག་བྱ་བ་དང་འབྲེལ་བའི་གཞི་རིམ་ཀྱི་བྱེད་རིམ་རྣམས་ལ་ང་ཚོས་ཁྱེད་མ་བྱེད་ལོག་བྱ་རྒྱུ་ཡིན། སྐབས་དེ་དག་ཏུ་བྱེད་པས་དང་ཆགས་བཀོད་གཞིས་ཀའི་ཚ་ནས་སྐད་པ་དེ་ཉིད་ཚུལ་རྩེ་ལྟར་རྒྱུ་ཆེར་སྤྲེལ་ནས་འགོད་བའི་དབང་གིས་དེའི་ཚ་ཤས་རྣམས་ཁྱོད་ཡོངས་ནས་མཉམ་སྤེལ་བང་ལས་ལ་ཞུགས་ཚུལ་སྐོར་ང་ཚོས་ཁེའ་བརྡད་བྱ་ལ། དེར་མ་ཟད་གཞིར་དང་། རྒྱུ་རྟེ་བཅས་ལ་རྒྱུ་ལས་ཀྱི་ཆེད་ང་ཚོས་དབང་རྩ་འཛིན་པ་དག་གི་ཆེས་ཐུ་བའི་གནས་ལུགས་ལའང་བསྐྱང་ཞེས་བྱ་རྒྱུ་ཡིན། ང་ཚོ་མེར་བྱེད་བའི་བྱེད་ཚོས་ཀྱི། བསམ་ཟློ་དང་། སེམས་སྒོང་། གཤིས་ཀའི་ཐུན་མོང་ཅན་གྱི་སྐྱེ་བོ་རྣམས་ལ་ལན་ལ་སྐྱབས་བའི་ཉེ་བ་མཐོར་འདེགས་བྱེད་པ་ཡིན།

Acetylcholine	ཨེ་སི་ཅེ་ལ་ཁོ་ལིན། (དབང་རྩ་འཕེན་པའི་རིགས་ཤིག)
Acetylcholinesterase	ཨེ་སི་ཅེ་ལ་ཁོ་ལི་ནེ་སི་ཅེ་རེ་སི། (རྨེན་རྫས་ཤིག)
Action potential propagation	ལས་འཇུག་ནུས་པ་བརྒྱུད་གཏོང་བ་བ།
Action potential	ལས་འཇུག་ནུས་པ།
Aldosterone hormone	ཨལ་ཇོ་སི་ཅེ་རོན་རྨེན་རྫས།
All-or-none principle	ཆ་ཚང་དམ་གཏན་མེད་ཀྱི་རྩ་ཡིན།
Alpha motor neuron	ཨལ་ཕ་འགུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཐ་རྒྱས།
Aluminum (Al)	རྐ་ཡང་།
Ampulla/ampullae	དམ་བི། དམ་བི་འཇ་བ།
Argon (Ar)	ཨར་གོན། གཉུག་རླུང་།
Association area	འབྲེལ་མཐུད་ས་ཁུལ།
Association cortex	འབྲེལ་མཐུད་སྐད་ཕྱོགས།
Atomic nucleus	རྡུལ་ཐན་ཀྱི་ཉིང་དུལ།
Auditory cortex	ཐོས་ཚོར་སྐད་ཕྱོགས།
Axon hillock Terminal	བརྡ་སྐྱེལ་འབུར་ཆུང་གི་མཇུག་སྟེ།
Axon hillock	བརྡ་སྐྱེལ་འབུར་ཆུང་།
Axon	བརྡ་སྐྱེལ་རྩ་ཐན།
Basal ganglia	སྐད་ཞབས་རྩ་འདུས།
Beryllium (Be)	བེ་རི་ཡི་ཡམ།
Biochemical states	སྐྱེ་ལྡན་རྫས་སྒྱོར་གྱི་གནས་བབ།
Biological molecules	སྐྱེ་ལྡན་འདུས་རྡུལ།
Biological organism	འཚོ་ཞེང་གསོན་པའི་སྐྱེ་དངོས།
Biological substrate	ཕུས་ཁམས་ཀྱི་རྟེན་གཞི།
Boron (B)	ཚ་ལ་ནག་པོ།
Broca's area	པོ་རོ་ཀའི་ས་ཁུལ།
Carbon (C)	ཁར་སྒྲོན།
Caudate nucleus	ཕུག་རུ་གོང་བུ། (སྐད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱི་ཆ་ཤས་ཤིག)
Cell body (Soma)	ཐ་སྐད་ཕུས། (སྤྱི་ཕུས།)
Cell membrane	ཐ་སྐད་སྐྱི་པགས། ཐ་སྐད་སྐྱི་སོ།
Cell	ཐ་སྐད།
Central finger neuron	ཕྱེ་བའི་མཛུབ་རྟེའི་དབང་རྩ་ཐ་རྒྱས། མ་ཡག་ཕྱེ་བའི་མཛུབ་རྟེའི་དབང་རྩ་ཐ་རྒྱས། (དབང་རྩ་ཕྱེ་བའི་མ་ཡག་ཏུ་གཏོགས་པའི་དབང་རྩ་ཐ་རྒྱས་གང་ཞིག་མཛུབ་རྟེ་དང་འབྲེལ་བ།)
Central neuron	ཕྱེ་བའི་དབང་རྩ་ཐ་རྒྱས། མ་ཡག་ཕྱེ་བའི་དབང་རྩ་ཐ་རྒྱས། (དབང་རྩ་ཕྱེ་བའི་མ་ཡག་ཏུ་གཏོགས་པའི་དབང་རྩ་ཐ་རྒྱས།)
Central pattern generators	ཕྱེ་བའི་འཁོར་རིམ་སྒོང་ཟེད། མ་ཡག་ཕྱེ་བའི་འཁོར་རིམ་སྒོང་ཟེད། (དབང་རྩ་ཕྱེ་བའི་མ་ཡག་གི་ཚད་གཏོགས་པའི་འཁོར་རིམ་སྒོང་ཟེད།)
Cerebellar cortex	སྐད་སྟིང་སྐད་ཕྱོགས།
Cerebellum	སྐད་སྟིང་།
Chandelier cell	དབྱང་བཞུ་ཐ་ཕུང་།
Channels and pumps	རྒྱུ་ལམ་དང་འབུད་པ།
Charge	ཁྲད་རྡུལ།

Chemical stimuli	རྫས་སྨོར་དང་བཞིན་གྱི་སྐུལ་རྟེན། རྫས་འགྱུར་སྐུལ་རྟེན།
Chemical transmission	རྫས་འགྱུར་འཕེན་གདོང་བྱ་བ།
Chemotactic signaling	རྫས་འཚེལ་སྤོགས་བསྐྱོད་ཀྱི་ཚ་འཕེན་གདོང་འཛོས།
Chloride	ཚྭ་ཆྱོར་ཀྱིས་དྲལ།
Chlorine (Cl)	ཚྭ་ཆྱོར།
Climbing fibers	རྒྱན་འཇེག་རྩ་རྒྱུས།
Cochlea	སྐྱོགས་དབང་།
Concentration gradients	གང་ཚད་གཟར་བབ།
Conductor	འཇེན་ཆས། (སློག་གི་འཇེན་ཆས།)
Contralateral cortex	གཞོགས་ལོག་སྐད་ཤུན།
Cortex of occipital lobes	ལྟག་འདབ་ཀྱི་སྐད་ཤུན།
Cortex	སྐད་ཤུན།
Cortex—simple cells	སྐད་ཤུན། --- ཟླ་ཐུང་དཀྱུས་མ།
Cortisol	ཁོར་ཏེ་སོལ། (རྣེན་རྩལ་ཀྱི་རིགས་ཤེག)
Crossed fibers	བསྟོལ་འཁོད་རྩ་རྒྱུས།
Cytoplasm	ཟླ་ཚི། ཟླ་ཐུང་གཤེན་རྫས།
Degradation	རྒྱད་འགྱུར། (སྐྱངས་འཛིན་བྱ་བའི་རིགས་ཤེག)
Dendrite	བརྡ་ལེན་རྩ་ཐུན།
Depolarization	སྟེ་འདུམ། སྟེ་འདུམ་བྱ་བ། (སྟེ་འཐལ་རང་གཤེས་རྡེ་འདུམ་དུ་འགྱུར་བའི་གནས་སྐབས་སམ་གནས་བབ།)
Direct pathway	ཐད་ཀའི་བཙོད་ལམ།
Directed movements	དམིགས་འཛུགས་འགུལ་སྐྱོད།
Dopamine	ཅོ་པ་མིན། (དབང་རྩ་འཕེན་པའི་རིགས་ཤེག)
Dorsal root ganglion	རྒྱབ་རྩད་རྩ་འབུར།
Dorsal spinocerebellar tract	རྒྱུངས་པ་དང་སྐད་སྟིང་སྟེལ་བའི་བརྡ་ལམ་སྟེང་མ།
Effector protein	སྐུལ་བྱེད་སྤྱི་རྫས།
Electrical charge	གློག་ཁྲད།
Electrical current	གློག་རྒྱུན།
Electrical gradients	གློག་འགྱུར་གཟར་བབ།
Electrical impulses	གློག་འགྱུར་དར་སྐང་།
Electrical transmission	གློག་འགྱུར་འཕེན་གདོང་བྱ་བ།
Electrodes	གློག་སྟེ།
Electron	གློག་རྡུལ།
Environmental cues	ཁོར་ཡུག་གི་བརྡ་སྟོན།
Epinephrine	ཨེ་པི་ནེ་ཕ་རིན། (དབང་རྩ་འཕེན་པའི་རིགས་ཤེག)
Equilibrium potential	ཚ་མཉམ་ནུས་པ།
Exchange pump	བརྗེ་སྐྱུར་འབུད་ཆས། བརྗེ་སྐྱུར་འབུད་པ།
Excitation	དར་སད་པ།
Excitatory	དར་སད་རང་བཞིན།
Excitatory response	དར་སད་ཡ་ལན།
Extracellular space	ཟླ་ཐུང་ཕྱི་རོལ་གྱི་སྟོང་ཆ།
Feedback control	ལྡོག་གསོ་ཚོད་འཛིན།

Feedback regulation	སྟོག་གསོ་བཀོད་སྒྲིག
Feedforward control	མདུན་གསོ་ཚོད་འཛིན།
Feedforward regulation	མདུན་གསོ་བཀོད་སྒྲིག
Firing an action potential	ལས་འཇུག་ནུས་པ་ཞེག་འཕེན་པ།
Flexion and extension movements (flex or extend)	ཉོང་སྐུམ་གྱི་འགྱུལ་སྐྱོད།
Flourine (F)	ཟུ་ཚོ་རིན།
Force	ཤུགས།
Frontal lobe	མདུན་འདབ།
GABA	སྐ་སྦ། (དབང་རྩ་འཛིན་པའི་རིགས་ཤེག)
Gap junction	བར་ཚིགས།
Globus pallidus	རླུམ་སྐྱ། (གླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱི་ཆ་ཤས་ཤེག)
Glucocorticoid receptor (GR)	སྐྱ་ལུ་ཁོ་ཁོར་ཏེ་ཁོ་ཡི་ཉེ་སྟེ་ལེན་པ། (རྡེ་ཨར་)
Glutamate	སྐྱ་ལུ་ཏ་ལེ། (དབང་རྩ་འཛིན་པའི་རིགས་ཤེག)
Golgi apparatus	སྐོལ་གཟུགས།
Golgi tendon organs	སྐོལ་སྒེ་ཆུ་རླུས་དབང་པོ།
G-protein coupled receptor	རྡེ་སྒེ་རྡོས་ལ་མཐུད་སྒྲོར་ཅན་ཀྱི་སྟེ་ལེན་པ།
Granule cell	རེགས་མ་ཟླ་ཤུང་།
Gray matter	རྡོས་སྐྱ།
Hair bundle	བ་སྤུའི་ཆུན་པོ།
Hair cell	བ་སྤུའི་ཟླ་ཤུང་།
Hamstring muscle	སྐྱི་ད་ཁྲག་ཁ་གནད། བརྡ་རྒྱབ་ཁ་སྒྲིམ།
Helium (He)	ཧེ་ལི་ཡམ།
Huntington's disease	རྟན་ཏེད་ཏོན་ནད།
Hydrogen (H)	ཡང་རླུང་།
Hyperpolarization	ཚད་བརྒལ་སྟེ་འཐལ།
Inactivation	གླུང་ལོག ཟླུང་ལོག་པ།
Indirect pathway	བརྒྱུད་པའི་བགྲོད་ལམ།
Inhibition	འགོག་སྡོམ།
Inhibitory	འགོག་སྡོམ་རང་བཞིན།
Inhibitory interneuron	འགོག་གཤེས་ཅན་གྱི་བར་གནས་དབང་རྩ་ཟླ་གཟུགས།
Inhibitory response	འགོག་སྡོམ་ཡ་ལན།
Integration	མཉམ་སྡེབ།
Interneuron	བར་གནས་དབང་རྩ་ཟླ་གཟུགས།
Intracellular messenger	ཟླ་ཤུང་ནང་སྐུག་གི་ཚོ་ཉ།
Intracellular space	ཟླ་ཤུང་ནང་རོལ་གྱི་སྟོང་ཆ།
Ion pump	ཉེས་རྡུལ་འབུད་ཆས། ཉེས་རྡུལ་འབུད་པ།
Ionically charged particles	ཉེས་རྡུལ་སྒེལ་བའི་གློག་ཁྲང་ཅན་གྱི་རྡུལ་རྡོས།
Ionotropic receptor	ཉེས་རྡུལ་འཛེན་པའི་སྟེ་ལེན་པ།
Ipsilateral cortex	གཞོགས་མཚུངས་གླད་ཤན།
Knee-jerk reflex	ལུས་མོའི་རྟད་སྐུད་སྟོག་འགྱུལ།

Lateral geniculate body	གཞོགས་ཀྱི་ལྟ་དའི་ལྟུ་གནུགས།
Lipid bilayer (cell membrane)	རིམ་པ་གཉིས་ལྡན་གྱི་ཞི་ཚིལ། (ཐུ་ཟུང་སྐྱེ་བགས།)
Lithium (Li)	ཞི་ཐི་ཡམ།
Lower motor neuron	འོག་གི་འགུལ་སྐྱོད་དབང་རྩ་ཐུ་གནུགས།
Magnesium (Mg)	དཀར་གཡའ།
Mechanical stimuli	འགུལ་ཤུགས་དང་བཞིན་གྱི་སྐུལ་རྐྱེན།
Medial geniculate body	དབུས་ཀྱི་ལྟ་དའི་ལྟུ་གནུགས།
Medulla	འཇོང་ཆུན།
Meissner's corpuscles	མེ་སི་ནང་ཐུ་ལུས།
Membrane potential	སྐྱེ་མོའི་ནུས་པ།
Membrane	སྐྱེ་མོ།
Merkel's receptors	མར་ཁེལ་སྟེ་ལེན་པ།
Microtubule	སྦུག་ཐེན།
Midbrain section	བར་སྐད་ཀྱི་རྩམས་གཤགས་རྣམ་པ།
Midbrain	བར་སྐད།
Millivolt	མི་ཝི་ཁོལཀ། ཁོལ་ཚད་ཀྱི་སྐོང་ཚ་གཅིག
Mineralocorticoid receptor (MR)	མི་ཝི་ར་ལོ་ཁོར་ཀེ་ཁོ་ཡི་ཀེ་སྟེ་ལེན་པ། (མིང་བསྡུས་སུ་ཨེམ་ཨར་ཟེར།) སྤྱི་རྟས་སྟེ་ལེན་པའི་རིགས་ཤིག
Mitochondrion	ནུས་སྐྱེད་ཐ་རྡུལ།
Mossy fibers	ཙོག་ཤིང་ཀྱ་རྒྱས།
Motoneuron	འགུལ་སྐྱོད་དབང་ཀྱ་ཐུ་གནུགས།
Motor cortex	འགུལ་སྐྱོད་སྐད་ཤུན།
Motor nerve cells	འགུལ་སྐྱོད་དབང་ཀྱ་ཐ་ཤུང་།
Motor neuron	འགུལ་སྐྱོད་དབང་ཀྱ་ཐ་གནུགས།
Muscle	ཤ་གནད།
Muscle fiber subunits	ཤ་གནད་ཐག་རན་ཐུན་ཆེགས།
Muscle fibers	ཤ་གནད་རྩིད་སྐུད།
Muscle Fiber membrane	ཤ་གནད་རྩིད་སྐུད་ཀྱི་སྐྱེ་མོ།
Muscle spindle	ཤ་གནད་བང་མ།
Musculoskeletal system	ཤ་གནད་དང་རུས་གྲང་སྦྱོལ་བའི་མ་ལག
Myelin sheath	མཡི་ལིན་སྦྱི་ཤུན། བད་རྩི་སྦྱི་ཤུན།
Neon (Ne)	ནེ་ཨོང་།
Nerve divides into many branches	དབང་ཀྱ་རྣམས་ཡན་ལག་མང་པོར་ཆེབ་འཕྱེ་རྒྱད་པ་རེད།
Nervous system	དབང་ཀྱ་མ་ལག
Neuromuscular junction	དབང་ཀྱ་དང་ཤ་གནད་སྦྱོལ་མཚམས།
Neuronal activities	དབང་ཀྱ་ཐ་གནུགས་ཀྱི་བྱ་གཞན།
Neurons	དབང་ཀྱ་ཐ་གནུགས།
Neuropeptides	དབང་ཀྱའི་སྐྱི་རྩི། (དབང་ཀྱ་འཕྲིན་པའི་རིགས་ཤིག)
Neurotoxins	དབང་ཀྱའི་ཉེས་དུག
Neurotransmission	དབང་ཀྱའི་འཕྲིན་གཏོང་བྱ་བ། དབང་ཀྱའི་འཇེན་གཏོང་བྱ་བ།
Neurotransmitter molecule	དབང་ཀྱ་འཕྲིན་པར་གྱུར་པའི་འདུས་རྡུལ།
Neurotransmitter	དབང་ཀྱའི་འཕྲིན་པ།

Nicotine receptor	ནེ་ཀོ་ཏིན་སྣེ་ལེན་པ།
Nitrogen (N)	ནཡེ་ཏྲོ་རྫེན་(རླངས་གཟུགས།)
Norepinephrine	ནོར་ཨེ་པི་ནེ་ཕ་རིན། (དབང་རྩ་འཕྲིན་པའི་རིགས་ཤིག)
Nucleolus	ཉེང་ཟླ།
Nucleus accumbens	སྣེ་རིལ། (ཀླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱི་ཆ་ཤས་ཤིག)
Nucleus	ཉེང་རྡུལ།
Occipital lobe	ལྟག་འདབ།
Optic nerve	མིག་གི་དབང་རྩ།
Optical input	མཐོང་ཚོར་ཀྱི་ནང་འཇུག་རྒྱུ་ཆ།
Organ	དབང་པོ།
Organism	སྐྱེ་དངོས།
Otoliths (utricle and saccule)	རྣ་རྡེའུ། (རྣ་རྒྱལ་ཆེ་བ་དང་ཆུང་བ།)
Oxygen (O)	འཚོ་རླུང་། སོག་འཇིན་རླུང་།
Phosphorus (P)	འོད་ཀྱི་མ་མ།
Pacinian corpuscles	པེ་སི་ནེན་ཟླ་ལུས།
Parietal lobe	གཏུག་འདབ།
Parkinson's disease	པར་ཀིན་སན་ནད།
Polarization	སྣེ་འཛལ། སྣེ་འཛལ་བྱ་བ།
Polyribosomes	རི་སྦོ་ཟེང་གཟུགས།
Pons	ཟམ་ཀྭན།
Postcentral gyrus	དཀྱིལ་སུལ་རྗེས་ཀྱི་རྩེ་རྒྱུད།
Post-synaptic neuron	མཐུད་མཚམས་རྗེས་འགྲོའི་དབང་རྩ་ཟླ་གཟུགས།
Potassium	དུག་སེལ་དཀར་པོ།
Premotor area	འགུལ་སྐྱོད་སྔོན་བསུའི་ས་ཁུལ།
Pre-synaptic neuron	མཐུད་མཚམས་སྔོན་འགྲོའི་དབང་རྩ་ཟླ་གཟུགས།
Primary motor cortex	འགུལ་སྐྱོད་སྤུ་རིམ་ཀླད་ཀྭན།
Proprioception	བདག་འགྱུར་ཤེས་ཚོར། བདག་འགྱུར་ཤེས་ཚོར་བྱ་བ།
Proprioceptors	བདག་འགྱུར་སྣེ་ལེན་པ།
Prosthesis	ཚབ་ཆས།
Protein receptor	སྤྱི་རྩ་སྣེ་ལེན་པ།
Pulvinar	སྤྱན་གདན།
Purkinje cell	པར་ཀིན་ཏེ་ཟླ་ཟུང་།
Putamen	ཀླད་རྩ་ཚི་ཀུ་མ། (ཀླད་ཞབས་རྩ་འདུས་ཀྱི་ཆ་ཤས་ཤིག)
Pyramidal cell	གཀོར་གཟུགས་ཟླ་ཟུང་།
Quadriceps muscle	(བརླ་ཡི་)སྣེ་བཞི་ཁ་གནད།
Receiving neuron	(བརྟ་འཕྲིན་)འབྱོར་སའི་དབང་རྩ་ཟླ་གཟུགས།
Receptive field	སྣེ་ལེན་ར་གཏ སྣེ་ལེན་ཁུབ་ར།
Receptor	སྣེ་ལེན་པ།
Red nucleus	ཁྲེ་ཉེང་དམར་པོ།
Reflex movements	སྐྱོག་འགུལ་རྣམ་འགྱུར། སྐྱོག་གཤིས་འགུལ་སྐྱོད།
Reflex	སྐྱོག་འགུལ།

Refractory period	ནུས་ཟད་དུས་ཚོགས།
Relay neuron	བརྒྱུད་གཏོང་དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས།
Relay nuclei	བརྒྱུད་འཇེན་ཕྱེ་ཉིང་།
Repolarization	སྟེ་མོ་བསྒྱུར་འཐུལ། སྟེ་མོ་བསྒྱུར་འཐུལ་བྱ་བ།
Response	ཡ་ལན།
Resting potential	བྱ་མེད་ནུས་པ།
Reticular nucleus	དྲ་མདོ།
Retinal output—LGN	དྲ་སྐྱེའི་ཐོན་རྩ།—འཕེད་ཀྱི་ལྟ་དའི་སྐད་ཁོ། (ཨེལ་ཇི་ཨེན།)
Retinal rods, cones	དྲ་སྐྱེ་ཁུལ་གྱི་དབྱུག་གาཟུགས་དང་སྐྱུང་གཟུགས་བཅོད་པ་རྣམས།
Reuptake	བསྒྱུར་ལེན།
Reward processing and learning	ཐོབ་པ་དབྱེ་གཅོད་དང་ཤེས་སྦྱོང་བསྟེན་པའི་བྱེད་རིམ།
Ribosomes	ཉིང་མངར་དབང་གཟུགས།
Rough Endoplasmic Reticulum (Rough ER)	གཤེར་ནང་དྲ་ཚོགས་རྩྭ་མོ།
Ruffini endings	རུ་པི་ནི་མཇུག་སྟེ།
Ruffini receptor	རུ་པི་ནི་སྟེ་ལེན་པ།
S: Sulfur(S)	སུ་ཟེ།
Saccule	རྣ་རྒྱལ་ཆུང་བ།
Second messenger	འཕྲིན་པ་གཉིས་པ།
Semicircular canals	ཕྱེད་སྐོར་སྒུ་ཀུ
Sensory neuron	དབང་ཚོར་དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས།
Serotonin receptors	སི་ཏོ་ཀེ་ནིན་སྟེ་ལེན་པ།
Serotonin reuptake transporter	སི་ཏོ་ཀེ་ནིན་བསྒྱུར་ལེན་སྐྱེལ་འཇེན་པ།
Serotonin	སི་ཏོ་ཀེ་ནིན། (དབང་རྩ་འཕྲིན་པའི་རིགས་ཤེག)
Signal	བརྡ་འཕྲིན།
Silicon (Si)	སི་ལི་ཀོན།
Skeletal muscle	རུས་འབྲངས་ཤ་གནད།
Smooth Endoplasmic Reticulum (Smooth ER)	གཤེར་ནང་དྲ་ཚོགས་འཇམ་པོ།
Sodium (Na)	བྱལ་རྩྭ།
Sodium channels	བྱལ་རྩྭ་ཀྱི་རྒྱུ་ལམ།
Soma (cell body)	སྤུ་ལུས། (ཐུ་ཐུང་ལུས།)
Somatosensation	ལུས་ཚོར་བྱ་བ།
Somatosensor	ལུས་ཚོར་སྟེ་ལེན་པ། ལུས་ཚོར་ཚོར་བྱེད།
Somatosensory cortex	ལུས་ཚོར་སྐྱད་ཕུན།
Somatosensory receptor	ལུས་ཚོར་སྟེ་ལེན་པ།
Somatotopic representation	(སྐྱད་པའི་སྟེང་གི་)འཕྲོས་མཐུན་དབང་ཚོར་མཚོན་རྣམ། ལུས་ཀྱི་ཡན་ལག་བྱེ་བྲག་པའི་ཚགས་ལུགས་དང་འཕྲོས་མཐུན་པར་སྐྱད་པའི་སྟེང་ད་ལྟའོད་པའི་དབང་ཚོར་མཚོན་རྣམ།
Spinal cord (cross section)	རྒྱུངས་པ། (འཕེད་གཤགས་རྣམ་པ།)
Spinal cord	རྒྱུངས་པ།
Spindle neuron	པང་མ་དབང་རྩ་ཐུ་གཟུགས།

Stellate cell	སྐར་གཟུགས་ཟླ་ཐུང་།
Striatum	ལྟོན་ཤུན།
Substantia nigra	གྲུབ་ཞོ་ནག་པོ།
Subthalamic nucleus	སྒྲིག་ཞབས་ཏོང་བུ། གྲུབ་སྒྲིག་ཞབས་མདོ།
Summation	བྱོགས་བསྡོམས། བྱོགས་བསྡོམས་བྱ་བ།
Superior colliculus	འབུར་གཟུགས་ཏོང་མ།
Supplementary motor areas	འགུལ་སྐྱོད་རམ་འདེགས་ས་ཁུལ།
Synapse	དབང་རྩའི་མཐུད་མཚམས།
Synaptic cleft (synaptic gap)	མཐུད་མཚམས་ཀྱི་སྟོང་ཚ། (མཐུད་མཚམས་ཀྱི་བར་སྟོང་།)
Synaptic gap (synaptic cleft)	མཐུད་མཚམས་ཀྱི་བར་སྟོང་། (མཐུད་མཚམས་ཀྱི་སྟོང་ཚ།)
Synaptic vesicle	མཐུད་མཚམས་ཕྲང་བུ།
Tectum	ཐོག་ལེབ།
Temporal lobe	རྩ་འདབ།
Tetrodotoxin	ཏེ་ཏོ་ཏོ་ཉེས་དུག
Thalamus	གྲུབ་སྒྲིག
Thermal stimuli	ཚ་དོད་བང་བཞིན་གྱི་སྐུལ་ཤུན།
Threshold potential	ཐེམ་མཚམས་ཀྱས་པ།
Transduction	བརྒྱུད་སྒྱུར། བརྒྱུད་སྒྱུར་བྱ་བ།
Transmission	བརྒྱུད་གཏོང་། ཚ་འཕེན་བརྒྱུད་གཏོང་། འཕེན་གཏོང་།
Tripolar neuron	སྟེ་གསུམ་དབང་ཅ་ཐ་གཟུགས།
Tubular ducts containing endolymph	ནང་གནས་ཆུ་མེར་གཟུང་བའི་སྒྲ་གུ་ཅན་གྱི་གཡེར་སྒྲིག
Two-point discrimination activity	སྟེ་གཉིས་སྒྲ་རིས་འབྱེད་པའི་བྱ་གཞག
Uncrossed fibers	བསྟོལ་མེད་རྩ་རྒྱུས།
Universal substrate	ཡོངས་ཁྱབ་གཞི་རྩས།
Upper motor neuron	སྟེང་གི་འགུལ་སྐྱོད་དབང་ཅ་ཐ་གཟུགས།
Utricle	རྩ་རྒྱལ་ཆེ་བ།
Ventral tegmental area (VTA)	འཐུམ་ཞོ་འོག་མའི་ས་ཁུལ།
Vesicle	ཕྲང་སྟོད།
Vestibular canals	སྒྲིག་ལྡན་ཡུར་བ།
Vestibular organ	སྒྲིག་ལྡན་དབང་པོ།
Vestibular sensors	སྒྲིག་ལྡན་དབང་ཚོར།
Vestibule-ocular reflex	མིག་དང་སྒྲིག་ལྡན་མ་ཡག་སྟེལ་བའི་སྟོག་འགུལ།
Voltage detector	ཁོལ་ཚད་འཛལ་བྱེད།
Voltage	ཁོལ་ཚད།
Voltage-gated channels	ཁོལ་རྐེན་སྒོ་བཅད་རྒྱུ་ལམ།
Wernicke’s area	ཝར་ནེགཱ་ས་ཁུལ།
White matter	རྩ་དཀར།